



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática

TESIS DOCTORAL

Aplicación de los Servicios Proporcionados por
una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería

Application of the Services Provided by an Active Geodetic
Network in Civil Engineering and Mining

por

Enrique Cano Jódar

Directores:

Dr. Francisco Javier Mesas Carrascosa y Dr. José Emilio Meroño de Larriva

Enero de 2020

TITULO: *Aplicación de los servicios proporcionados por una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería*

AUTOR: *Enrique Cano Jódar*

© Edita: UCOPress. 2020
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática

Aplicación de los Servicios Proporcionados por
una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería.

Tesis doctoral presentada en cumplimiento de los requisitos necesarios para optar al grado de doctor por la Universidad de Córdoba y dirigida por los Dres. Fco. Javier Mesas Carrascosa y José Emilio Meroño de Larriva, Profesores Titulares de la Universidad de Córdoba.

Programa de doctorado:

Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y de Desarrollo Rural Sostenible

El autor,
Enrique Cano Jódar

El director,
Dr. Francisco Javier Mesas Carrascosa

El director,
Dr. José Emilio Meroño de Larriva

Enero de 2020



TÍTULO DE LA TESIS: Aplicación de los servicios proporcionados por una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería

DOCTORANDO/A: Enrique Cano Jódar

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

Esta Tesis Doctoral ha tenido por objeto analizar las prestaciones de una red geodésica activa en base a normativa ISO con objetivo de establecer las condiciones de uso para trabajos topográficos de ésta en el ámbito de la ingeniería civil y minería.

Tanto la metodología como el trabajo de investigación, las conclusiones y los resultados obtenidos son satisfactorios.

El doctorando ha desarrollado un trabajo de investigación adecuado, incorporando a su formación nuevas disciplinas, demostrando su capacidad e independencia en el trabajo que se debe requerir a todo egresado con el grado de doctor.

Su trabajo de investigación ha sido sometido a una revisión por pares en una revista científica indexada.

Que derivado de esta Tesis Doctoral se ha publicado el siguiente trabajo:

Revista incluidas en SCI:

- Cano-Jódar, Enrique, Manuel Sánchez-de la Orden, and Javier Mesas-Carrascosa. "Active geodetic network: application in topography." *Dyna* 85.206 (2018): 114-120.

Aportaciones a congresos:

- Cano-Jódar, Enrique, Mesas Carrascosa, F. Javier. Determinación de la repetibilidad y reproducibilidad de las soluciones proporcionadas por una red geodésica activa: aplicaciones en la construcción. International Conference on Green Construction. Córdoba, 8-9 de abril de 2019 (*pendiente de publicación del libro de actas*).

Que se considera que el trabajo realizado cumple con los requisitos necesarios para su presentación y lectura.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 17 de enero de 2020

Firma de los directores

Fdo.: F. Javier Mesas Carrascosa

Fdo.: José Emilio Meroño de Larriva

Porque me alegras la vida, me haces sonreír y he vuelto a jugar.

A Nicol

Agradecimientos

A los profesores Francisco Javier Mesas Carrascosa y José Emilio Meroño de Larriva, directores de esta tesis, por su apoyo y dedicación en la realización y corrección de este trabajo de investigación. Muchas gracias, por decir SI cuando solicité vuestra ayuda.

A Manuel Sánchez de la Orden, quien comenzó siendo el director de este trabajo, pero que tuvo que abandonar al pasar a una merecida jubilación. Gracias por tu ayuda durante tanto tiempo.

A Alfonso García Ferrer, que como, director del Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática me ha apoyado y facilitado todas las gestiones que he necesitado.

A Paco Montes, porque él fue la persona que me animó a realizar el Master, que posteriormente me capacitaría para realizar esta tesis.

A la Politécnica Superior de Belmez, Escuela en la que cursé mis estudios de Ingeniero Técnico de Minas y en la que he desarrollado a lo largo de 27 años, mi actividad docente e investigadora, por su ayuda en todo lo que les he solicitado.

A mi compañero de fatigas Manolo López, por todo lo que hemos trabajado juntos, por las largas horas que hemos compartido hablando de cómo resolver este o aquel problema, de las dudas que a veces nos embargaban y siempre buscando la ayuda del otro. También, por los buenos ratos después de un día intenso de trabajo, pero que, incluso tomando una cerveza seguíamos hablando de nuestras respectivas tesis.

A mis compañeros, Antonio Daza, José María Fernández y Antonio Rodero, porque siempre han estado ahí, dispuestos con sus amplios conocimientos a solucionar cualquier incidencia que estuviera en sus manos.

A los alumnos, que han colaborado durante muchos y largos días en la toma de datos.

A mis padres allá donde estén, por su sacrificio para que estudiase en la Universidad, para que sepan que, todo aquello fue el origen de esta tesis.

A mis hijos, Marta, Enrique y Mohamed, por su ánimo y comprensión durante todo este tiempo, que algunas veces ha sido un poco difícil y muy especialmente a mi mujer, mi copiloto en la vida y en el trabajo, gracias por tu apoyo, por tu ayuda y por tu comprensión.

Y en último lugar, quiero dar las gracias a mi nieta Nicol, porque ella sin saberlo ha conseguido muchas veces levantarme el ánimo en los momentos más bajos. A partir de ahora, dispondré de más tiempo libre y mucho de él te lo voy a dedicar a ti.

“El camino es el que nos enseña la mejor forma de llegar y nos enriquece mientras lo estamos cruzando”.

Paulo Coelho

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

Resumen

Esta Tesis ha tenido como objetivo analizar las prestaciones de una Red Geodésica Activa en base a normativa ISO, con la finalidad de establecer sus condiciones de uso, para trabajos topográficos en los ámbitos de las Ingenierías Civil y Minera.

Se establecen dos objetivos generales, el primero evaluar y caracterizar una Red Geodésica Activa, en cuanto a su, calidad posicional, funcionamiento y rendimiento del sistema y el segundo analizar el rendimiento obtenido al realizar trabajos topográficos aplicados en distintos proyectos de Ingeniería Civil y Minera, utilizando los servicios de una Red Geodésica Activa.

Para la realización de esta Tesis se ha utilizado la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP), una Red Geodésica Activa Regional. Se aplican métodos GPS estáticos y cinemáticos en tiempo real RTK. Las pruebas, se realizan en seis de puntos de control situados dentro o en los bordes de la red. Se obtienen diferentes soluciones, aplicando distintos métodos de correcciones: solución simple desde la estación más cercana, soluciones de red con correcciones (MAX) e (IMAX).

La aplicación de los servicios ofrecidos por una Red Geodésica Activa en el ámbito de la Ingeniería Civil es alta y puede utilizarse en la mayoría de las unidades analizadas. El rendimiento también es alto, evitándose pérdidas de eficiencia tanto en la toma de datos como en el replanteo, estos trabajos, se realizan de forma continua lo que supone una reducción del coste económico.

Los servicios ofrecidos por una Red Geodésica Activa en trabajos propios de la Ingeniería de Minas, pueden aplicarse en todas las fases en las que se divide la técnica minera: exploración, prospección, investigación, explotación y restauración.

Abstract

This Thesis has aimed to analyze the benefits of an Active Geodetic Network based on ISO regulations, in order to establish its conditions of use, for topographic Works in the fields of Civil and Mining Engineering.

Two general objectives are established, the first to evaluate and characterize an Active Geodetic Network, in terms of its positional quality, operation and system efficiency and the second to analyze the performance obtained when performing topographic works applied in different Civil and Mining Engineering projects, using the services of an Active Geodetic Network.

To carry out this thesis, the Andalusian Positioning Network (RAP), a Regional Active Geodetic Network, has been used. Static and kinematic GPS methods are applied in real time RTK. The tests are performed at six control points located inside or at the edges of the network. Different solutions are obtained, applying different correction methods: simple solution from the nearest station, network solutions with corrections (MAX) and (IMAX).

The application of the services offered by an Active Geodetic Network in the field of Civil Engineering is high and can be used in most of the units analyzed. The performance is also high, avoiding loss of efficiency in both data collection and stakeout, these works are carried out continuously which means a reduction in economic cost.

The services offered by an Active Geodetic Network in own works of the Mining Engineering, can be applied in all the phases in which the mining technique is divided: exploration, prospecting, investigation, exploitation and restoration.

INDICE	Pág.
CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1.- Introducción.....	1
1.2.- Hipótesis de partida y objetivos.....	5
1.3.- Estructura del documento	6
CAPITULO II.- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	7
2.1.- Introducción.....	7
2.2.- Navstar GPS	9
2.2.1.- Bloque espacial	9
2.2.1.1.- Cálculo de la posición.....	13
2.2.1.2.- Sistema de Referencia.	14
2.2.1.3.- Componentes de la señal.	15
2.2.1.4.- Ondas electromagnéticas.	18
2.2.2.- Bloque de control	19
2.2.2.2.- Estación Master Control.	20
2.2.2.3.- Antenas de Tierra.....	21
2.2.3.- Bloque usuario	21
2.2.3.1.- Antena.....	22
2.2.3.2.- Sensor o Receptor	22
2.2.3.3.- Controladora.	22
2.2.3.4.- Clasificación de los equipos en función de los observables....	22
2.3.- Medición de distancias.....	24
2.3.1.- Medición doppler.....	24
2.3.2.- Medida de pseudodistancias a partir de medida de códigos	24
2.3.3.- Medidas de fase.....	26
2.3.4.- Fuentes de error.....	28
2.3.4.1.- Errores procedentes de los satélites.	28
2.3.4.2.- Errores procedentes del medio por el que viaja la señal.....	29
2.3.4.3.- Errores que provienen del receptor.....	30
2.3.5.- Combinaciones lineales de observables ...	32
2.3.5.1.- Simples diferencias.	32
2.3.5.2.- Dobles diferencias.	32
2.3.5.3.- Triples diferencias.	33

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

2.4.- Métodos GPS.....	33
2.4.1.- Método absoluto.....	35
2.4.2.- Método diferencial o relativo.....	36
2.4.3.- Técnicas de medición.....	37
2.4.3.1.- Técnicas estáticas.	37
2.4.3.2.- Técnicas dinámicas.....	39
2.4.3.2.1.- Levantamiento cinemático.....	39
2.4.3.2.2.- Levantamiento Stop & a Go	39
2.4.3.2.3.- Levantamiento en tiempo real.....	40
2.5.- Otros sistemas de navegación por satélite (GNSS).....	42
2.5.1.- Glonass.....	42
2.5.2.- Galileo.	44
2.5.3.- Beidou	46
2.5.4.- Navic.....	47
2.5.5.- Qzss.	48
2.6.- Interoperabilidad.....	49
CAPITULO III.- REDES GEODÉSICAS ACTIVAS	53
3.1.- Antecedentes.....	53
3.2.- Redes geodésicas activas.....	69
3.2.1.- Diseño de la red.....	69
3.2.2.- Equipamiento de las estaciones... ..	70
3.2.2.1.- Receptor.....	70
3.2.2.2.- Antena.....	71
3.2.2.3.- Equipos para transmisión y recepción de datos.....	71
3.2.2.4.- Equipamiento centro de control.....	71
3.2.2.5.- Red de transmisión de datos.....	72
3.2.2.6.- Red de difusión de datos.....	72
3.2.3.- Monumentación de las estaciones de referencia	73
3.2.4.- Marco de referencia.....	75
3.2.4.1.- Materialización del marco de referencia.....	77
3.2.5.- Diferentes métodos de generación de correcciones redes RTK.....	78
3.2.5.1.- Virtual referencia estación.....	78
3.2.5.2.- Flächen korrektur parameter (FKP)	80
3.2.5.3.- Concepto MAC.....	80

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

3.2.5.3.1.- Correcciones Maestro-auxiliares (MAX).....	82
3.2.5.3.2.- Correcciones I-MAX	83
3.3.- Principales redes geodésicas activas.....	83
3.3.1.- Red International GNSS service (IGS).....	83
3.3.2.- Red Continental. EUREF.....	88
3.3.3.- Red Geodésica Nacional, estaciones de referencia (ERGNSS).....	91
3.3.4.- Red Andaluza de Posicionamiento (RAP).	93
3.3.5.- Otras redes geodésicas activas.....	99
CAPITULO IV.- TRABAJOS REALIZADOS	101
4.1.- Introducción.....	101
4.2.- Evaluación de una red geodésica activa.....	101
4.2.1.- Materiales.....	101
4.2.2.- Metodología	102
4.2.2.1.- Precisión	102
4.2.2.2.- Exactitud.....	103
4.2.2.3.- Determinación de repetibilidad y reproducibilidad.....	104
4.2.2.3.1.- Estimación de parámetros en el modelo básico	106
4.2.2.4.- Tiempo de resolución de ambigüedades.....	106
4.2.2.5.- Rendimiento en el levantamiento topográfico.....	107
4.3.- Análisis de datos.....	107
4.3.1.- Precisión.....	107
4.3.2.- Exactitud.....	113
4.3.3.- Repetibilidad y Reproducibilidad	119
4.3.4.- Rendimiento en el levantamiento topográfico	126
4.3.4.1.-Tiempo de resolución de ambigüedades.....	126
4.3.4.2.- Rendimiento en el levantamiento.	126
4.4.- Conclusiones.....	127
CAPÍTULO V.- APLICACIONES EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA	129
5.1.- Introducción.....	129
5.2.- Ingeniería Civil.....	130
5.2.1.- Comprobación.....	131
5.2.2.- Ejecución..	131
5.2.2.1.- Desbroce	131
5.2.2.2.- Movimiento de tierras.....	131

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

5.2.2.3.- Firmes	132
5.2.2.4.- Estructuras y obras de paso.	132
5.2.2.5.- Mediciones.....	133
5.3.- Ingeniería de Minas.....	133
5.3.1.- Exploración.....	135
5.3.2.- Prospección	136
5.3.3.- Investigación.....	137
5.3.4.- Explotación	137
5.3.5.- Plan de restauración.....	137
5.4.- Conclusiones.....	138
5.4.1.- Ingeniería Civil.....	138
5.4.2.- Ingeniería de Minas..	138
5.5.- Nuevas líneas de investigación.....	139
5.6.- Referencias bibliográficas.....	139
ANEXO I.- GRÁFICOS.....	151
1.- Precisión.....	152
1.1.- Solución simple	152
1.2.- Solución de red	154
1.2.1.- Correcciones MAX.....	154
1.2.2.- Correcciones IMAX	156
2.- Exactitud.....	158
2.1.- Solución simple.	158
2.2.- Solución de red	160
2.2.1.- Correcciones MAX.....	160
2.2.2.- Correcciones IMAX	162
3.- Repetibilidad y Reproducibilidad.....	164
ANEXO II.- PRUEBAS DE NORMALIDAD.....	167
1.- Pruebas de normalidad.....	168
1.1.- Toma desde la estación de referencia Cazalla.....	168
1.1.1.- Nivel 1	168
1.1.2.- Nivel 2	175
1.1.3.- Nivel 3	182
1.1.4.- Nivel 4	189
1.1.5.- Nivel 5	196

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

1.1.6.- Nivel 6	203
1.2.- Toma desde la estación de referencia Pozoblanco.....	210
1.2.1.- Nivel 1	210
1.2.2.- Nivel 2	217
1.2.3.- Nivel 3	224
1.2.4.- Nivel 4	231
1.2.5.- Nivel 5	238
1.2.6.- Nivel 6	245
1.3.- Toma desde la estación de referencia Córdoba	252
1.3.1.- Nivel 1	252
1.3.2.- Nivel 2	259
1.3.3.- Nivel 3	266
1.3.4.- Nivel 4	273
1.3.5.- Nivel 5	280
1.3.6.- Nivel 6	287
ANEXO III.- INDICIOS DE CALIDAD	295

Listado de Figuras

Fig. 1.- Constelación NAVSTAR.	10
Fig. 2.- Satélite GPS III/IIIF en producción.	12
Fig. 3.- Trilateración cuatro satélites GPS.	14
Fig. 4.- Sistema de referencia.....	15
Fig. 5.- Determinación de coordenadas.....	15
Fig. 6.- Sistema de referencia y coordenadas en la que se expresa el movimiento del polo.	15
Fig. 7.- Composición mensaje de navegación.....	17
Fig. 8.- Componentes de la señal emitida por los satélites.....	18
Fig. 9.- Localización de las estaciones de control del sistema GPS.....	20
Fig. 10.- Medidas de pseudodistancias con medidas de código.....	24
Fig. 11.- Medida de pseudodistancias con medidas de fase.....	27
Fig. 12.- Error multicamino o multipath.....	30
Fig. 13.- Geometría de la constelación.....	31
Fig. 14.- Levantamiento cinemático.....	39
Fig. 15.- Levantamiento Stop & a Go.	40
Fig. 16.- Levantamiento en tiempo real. RTK.	40
Fig. 17.- Sistema de navegación por satélite Glonass.....	43
Fig. 18.- Constelación de satélites Galileo.....	45
Fig. 19.- Constelación de satélites Beidou.....	46
Fig. 20.- Características espectrales de las señales de navegación de Beidou.....	47
Fig. 21.- QZSS es una órbita en forma de ocho con asimetría norte-sur.	48
Fig. 22.- Simulación con la aplicación GNSS VIEW satélites visibles de las constelaciones GNSS.....	50
Fig. 23.- Redes geodésicas activas públicas de España.....	68
Fig. 24.- El servidor de red transmite el flujo de corrección RTCM para la posición VRS.....	79
Fig. 25.- Planos FKP lineales para cuatro estaciones de referencia.	80
Fig. 26.- Subredes y celdas utilizadas por el concepto MAC. cada rover utiliza una celda según su ubicación.....	81
Fig. 27.- Funcionamiento de concepto MAC, correcciones MAX.....	82
Fig. 28.- Correcciones I-MAX.....	83
Fig. 29.- Estaciones permanentes de la red internacional GNSS Service.....	84
Fig. 30.- Evolución de la solución final de órbitas de satélites GPS en los últimos 25 años.....	85
Fig. 31.- Estaciones de seguimiento de la EPN incluidas en ITRF2014.....	88
Fig. 32.- Estaciones de referencia de la red EGNSS.....	92
Fig. 33.- Estaciones de funcionamiento continuo de la red andaluza de posicionamiento.....	93
Fig. 34.- Situación puntos de control.....	103

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Fig. 35.- Distribución geométrica de las estaciones de referencia y niveles de control.....	105
Fig. 36.- Discrepancias respecto al valor más probable utilizando solución simple RTK, punto de ensayo 1, componentes este y norte	109
Fig. 37.- Discrepancias respecto al valor más probable utilizando solución simple RTK. punto de ensayo 1, componente vertical	110
Fig. 38.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución red (NRTK), correcciones MAX, punto de ensayo 1, componente este y norte.....	111
Fig. 39.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución red (NRTK), correcciones MAX, punto de ensayo 1, componente vertical	111
Fig. 40.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución red (NRTK), correcciones IMAX punto 2, componente este y norte.	112
Fig. 41.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución red (NRTK), correcciones IMAX punto 2, componente vertical	113
Fig. 42.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución simple (RTK), punto 5, componente este y norte.....	115
Fig. 43.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución simple (RTK), punto 5, componente vertical.	115
Fig. 44.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK) correcciones MAX, punto 3, componentes este, norte.....	116
Fig. 45.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones max, punto 3, componente vertical.	117
Fig. 46.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones IMAX, punto 6, componentes este y norte.....	118
Fig. 47.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones IMAX, punto 6, componente vertical.....	118
Fig. 48.- Gráfico Q-Q normal, toma de nivel 1, desde estación de Pozoblanco	120
Fig. 49.- Gráfico Q-Q normal, toma de nivel 1, desde estación de Cazalla	120
Fig. 50.- Gráfico Q-Q normal, toma de nivel 1, desde estación de Córdoba.	121
Fig. 51.- Gráfico Q-Q normal, toma de nivel 1, desde estación de Pozoblanco.....	121
Fig. 52.- Gráfico Q-Q normal, toma de nivel 1, desde estación de Córdoba.....	122
Fig. 53.- Diferencias respecto a la media general, configurando el equipo con solución simple desde la estación seleccionada, nivel de control 4	125
Fig. 54.- Diferencias respecto a la media general, configurando el equipo con solución simple desde la estación seleccionada, nivel de control 4	125
Fig. 55.- Tiempo de resolución de ambigüedades:.....	126
Fig. 56.- Rendimiento en el levantamiento topográfico.....	127
Fig. 57.- Rendimiento en el levantamiento y calidad 3D.	127

Listado de Tablas

Tabla 1.- Fuentes de error.	31
Tabla 2.- Resumen de la clasificación de los métodos GPS.	35
Tabla 3.- Exactitud a priori del sistema GPS.	35
Tabla 4.- Tiempo de observación recomendado en planimetría. exactitud en línea base 1 cm.	38
Tabla 5.- Tiempo de observación en altimetría, exactitud en línea base 1 cm.	38
Tabla 6.- Características de la constelación NAVIC/IRNSS	47
Tabla 7.- QZSS sistema de navegación por satélite.	48
Tabla 8.- Estado de la constelación QZS.	49
Tabla 9.- Configuración IGS y procesamiento EUREF.	77
Tabla 10.- Características de calidad de servicio para las posiciones y velocidades de la estación de seguimiento.	86
Tabla 11.- Características de calidad de servicio para los productos de órbita y reloj IGS.	86
Tabla 12.- Características de calidad de servicio para parámetros de rotación de la tierra. Coordenadas de movimiento polar	87
Tabla 13.- Características de la calidad de servicio para parámetros atmosféricos	87
Tabla 14.- Estaciones de la red andaluza de posicionamiento (RAP).	94
Tabla 15.- Primera configuración correcciones diferenciales en tiempo en tiempo real de la RAP	95
Tabla 16.- Configuraciones actuales de la RAP a partir de 2016.	96
Tabla 17.- Coordenadas ITRF2000 época 2017.0 en proyección UTM. huso 30. rap.	98
Tabla 18.- Discrepancias respecto al valor más probable	108
Tabla 19.- Precisión RTK. solución simple RAP.	109
Tabla 20.- Precisión NRTK. solución MAX, RAP.	110
Tabla 21.- Precisión NRTK, correcciones IMAX, RAP.	112
Tabla 22.- Variaciones de la precisión utilizando diferentes soluciones.	113
Tabla 23.- Coordenadas asignadas a los diferentes puntos de control.	114
Tabla 24.- Exactitud solución simple RTK.	114
Tabla 25.- Exactitud solución de red correcciones MAX.	116
Tabla 26.- Exactitud solución de red, correcciones IMAX.	117
Tabla 27.- Variabilidad de la exactitud en posición y altura.	119

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Tabla 28.- Diferentes estimadores M, toma nivel 1, desde estación de Pozoblanco.....	119
Tabla 29.- Media de cada laboratorio y media general en cada nivel de control	122
Tabla 30.- Valor estimado de varianza de laboratorios y varianza de repetibilidad.	123
Tabla 31.- Valor estimado de varianza interlaboratorios.	123
Tabla 32.- Valor estimado de varianza de reproducibilidad, repetibilidad y reproducibilidad	124
Tabla 33.- Valores de repetibilidad y reproducibilidad en las tres componentes.....	124
Tabla 34.- Valores de repetibilidad y reproducibilidad.....	124

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años los Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS) han experimentado grandes avances relacionados con: el aumento del número de satélites, la mejora y desarrollo de los equipos y la investigación de algoritmos de procesamiento de la señal, lo que ha tenido como consecuencia directa el uso masivo de estas tecnologías en numerosos ámbitos científicos y técnicos.

Los antecesores del sistema GPS fueron los sistemas Loran y Transit. El primero de ellos *Long Range Navigation* (Navegación de Largo Alcance), es un sistema de ayuda a la navegación que utiliza el intervalo transcurrido entre la recepción de señales de radio, transmitidas desde tres o más transmisores, para determinar la posición del receptor. El artífice de este sistema fue **Alfred Lee Loomis**, uno de los científicos estadounidenses más importantes en la Segunda Guerra Mundial. La versión más moderna funciona en frecuencias del espectro electromagnético entre 90 y 100 KHz. El uso de Loran, fue decayendo rápidamente y en el año 2010, Estados Unidos cancela definitivamente este sistema, que pasa a ser reemplazado por el sistema GPS.

El sistema Transit entró en servicio en 1965 y fue el primero en utilizar satélites, para obtener posiciones. Las características principales que tenía que cumplir son las siguientes: globalidad, funcionamiento continuo, alto rendimiento para ser utilizado en la aviación y finalmente tener precisión suficiente. El número de satélites de la constelación era de seis en órbita baja, a una altura de 1075 Km, que describía un giro completo a la Tierra cada 107 minutos. Con este número de satélites se conseguía una cobertura global pero no constante.

Los satélites envían señales en dos frecuencias, con el objetivo de reducir los errores que se producen por el viaje de la señal, a través, del medio que atraviesan antes de llegar al receptor terrestre. El cálculo para conocer las coordenadas del punto terrestre debe relacionar su posición con la órbita del satélite. Esta relación, puede conocerse midiendo la desviación Doppler; esta desviación está en función únicamente de la posición y movimiento del receptor con respecto a las efemérides del satélite. El error de Transit giraba en torno a los 250 m. Su máxima aplicación fue para uso militar y en la navegación de submarinos y barcos. La Unión Soviética, desarrolló un sistema similar denominado Tsidada.

A partir del año 1973 empieza a concebirse el sistema GPS Americano y es en 1980, cuando la antigua Unión Soviética desarrolló el sistema Glonass (Global Orbiting Navigation Satellite System).

En 1978 se lanzó el primer satélite del sistema GPS y en 1985 finalizó el lanzamiento del primer bloque de satélites constituidos por un total de 11. El principal objetivo era proporcionar a las fuerzas armadas de los EE.UU. un posicionamiento

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

autónomo, global, continuo y con suficiente precisión. La responsabilidad del sistema corre a cargo del Departamento de Defensa de los EE.UU. (DoD), el GPS constituye un sistema militar estratégico.

En el año 1993, oficialmente el Gobierno Ruso delegó la responsabilidad del programa GLONASS a las Fuerzas Espaciales Militares Rusas (RSF). El sistema fue completado en 1996, pero sólo, estuvieron disponibles los 24 satélites durante 40 días.

Tras un continuo trabajo, se desarrollan nuevas constelaciones de satélites, entre otras, nace el programa Galileo dirigido por la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea; la fase de definición del sistema comenzó en 1999, con una puesta en marcha prevista en 2005 y una plena capacidad operativa en 2008. Galileo, pretende realmente ser un sistema complementario, compatible e interoperable con los sistemas GPS y GLONASS, así como, con otras constelaciones existentes o en fase de desarrollo, por ejemplo, la constelación BEIDOU.

El primer satélite de la constelación BEIDOU, el Beidou-1A se lanzó el 30 de octubre de 2000, seguido del Beidou-1B el 20 de diciembre de 2000 y el tercero, el Beidou-1C fue puesto en órbita el 25 de mayo de 2003; aunque estará constituida por 25 satélites, a 30/12/2017 sólo se encontraban en órbita operacional 15 de ellos, los 10 restantes se encontraban no operativos.

La constelación GLONASS, se vio favorecida con la puesta en marcha y el lanzamiento en 2002, del Programa Federal Ruso "Sistema de Navegación Global para 2002-2011". Con este programa se logró preservar, modernizar y comenzar a funcionar con satélites "GLONASS-K". Se consiguió modernizar el segmento de control terrestre, que junto con, la constelación orbital garantizaba las características de precisión en un nivel acorde con los del sistema GPS.

La primera modernización de satélites GPS, se puso en marcha en 2005, comenzó a transmitir una segunda señal civil (L2C) y actualmente continúa con el aumento de señales (L5C), (L1C), así como, con mejoras en los nuevos satélites del GPS III/IIIF previstas para 2018, mejoras que pretenden conseguir un mayor rendimiento del sistema para el usuario final.

Los sistemas de navegación por satélites fueron concebidos inicialmente, para uso militar, por lo que, la precisión obtenida por el sistema en sí mismo, no es suficiente para trabajos en el campo de la Geodesia, la Topografía, así como, en todas sus otras aplicaciones. Son muchos los ámbitos científicos - técnicos que se han visto beneficiados con la aparición del GNSS, siendo las ciencias de la tierra las más favorecidas, fundamentalmente la Topografía y la Geodesia, que, en un tiempo relativamente corto, han permitido introducir estos sistemas en sus respectivos trabajos.

El desarrollo de los equipos, así como, la aparición de métodos que utilizan técnicas de Procesado Diferencial, *Differential Global Positioning System* (DGPS), han

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “

conseguido aumentar las precisiones del sistema, pasando de precisiones de decenas de metros, con posicionamiento autónomo y manejo de receptores de una sola frecuencia, a precisiones por debajo de diez metros, si empleamos receptores de doble frecuencia. Además, si se utilizan correcciones en tiempo real, mediante observaciones de código en la estación de referencia (*DGNSS-Diferencial GNSS*), se podría llegar a precisiones de decímetros, pudiendo alcanzar precisiones de centímetros, si se emplean en tiempo real correcciones de código y fase desde la referencia (*PDGNSS - Preciso Diferencial GNSS* también conocido como *SRS - Simple Referencia Estación*) o desde los servicios de correcciones diferenciales en tiempo real de una red de estaciones permanentes (*Red RTK o MRS - Múltiples Referencias Estación*). Si se utilizan receptores de doble frecuencia y técnicas de procesamiento cinemático en tiempo real (RTK) podemos alcanzar precisiones de 1cm+1ppm, al 68% del nivel de confianza.

En la década de los 90, fueron muchos los científicos que estudiaron nuevas técnicas para mejorar y seguir optimizando la calidad posicional, eliminar ciertos errores y favorecer una mayor homogeneidad en la medida, así como, para poder obtener una buena calidad posicional a distancias mayores, utilizando algoritmos de cálculo que permitieran trabajar con precisión a distancias superiores a los 50 km. Hoy día es posible conseguir estas mejoras con la infraestructura de Estaciones de Referencia de funcionamiento continuo, Continuously Operating Reference Station (CORS), también, denominadas Redes RTK o Redes Geodésicas Activas.

En 1994, comienza su andadura el Servicio Internacional GNSS (IGS), es una federación voluntaria que engloba a más de 200 agencias, universidades e instituciones de investigación repartidas por más de 100 países; trabajan para conseguir las órbitas de satélites GPS de más altas precisiones en el mundo, garantizado el acceso abierto a productos de datos GNSS de alta calidad. Estos productos, permiten el acceso al marco de referencia global definitivo, para aplicaciones científicas, educativas, comerciales, resultando ser un gran apoyo para los avances científicos, así como, para los propios usuarios.

A fin de mejorar la calidad métrica y los servicios ofrecidos por sistemas GNSS, se han instalado numerosas redes GNSS tanto privadas como públicas, que ofrecen servicios de descarga de datos para trabajos en post-proceso y envío de correcciones diferenciales, lo que, permite un posicionamiento preciso en tiempo real. El ámbito de estas redes puede ser, mundial para la Red International Service GNSS (IGS), continental para la Eufem Permanent Network en Europa (EPN), nacionales para la ERGNSS en España y regionales como, por ejemplo, la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP).

Cada una de ellas, Continuously Operating Reference Station (CORS) está constituida por un número determinado de receptores GNSS, distribuidos de forma homogénea en el área a la que se pretende dar servicio, un centro de control que recibe la información de todos los receptores y un canal de difusión de datos. El centro de control a partir de la información recibida por cada receptor determina y modela los errores,

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

creando unas correcciones que son enviadas por el canal de difusión de datos al receptor del usuario, a fin de, mejorar la solución obtenida en Real Time Kinematic (RTK).

A partir de los años 90, son numerosos los estudios realizados en esta línea tratando de mejorar tanto, los métodos de cálculo, la generación de correcciones, el envío de las mismas, métodos más precisos y rápidos para resolución de ambigüedades, mejora del rendimiento RTK, métodos para proporcionar correcciones de red con VRS (Estación de Referencia Virtual) y nuevos mensajes RTCM. Se han investigado los medios de procesamiento de datos del receptor de referencia, proporcionando información (corrección) a los usuarios en tiempo real, consiguiendo que una red de estaciones de funcionamiento continuo (CORS) consiga dar un servicio preciso y óptimo a los usuarios que las utilizan.

Actualmente, existen diferentes metodologías de cálculo y transmisión de correcciones, en función del carácter unidireccional o bidireccional de la comunicación. En el enlace unidireccional, el usuario recibe la corrección directamente, como ocurre con las correcciones Flächen Korrektur Parameter (FKP) y correcciones Master-Auxiliary Concept MAC. En el enlace bidireccional, es necesario que el receptor móvil envíe su posición aproximada al centro de control, generando éste unas correcciones adecuadas para el equipo móvil. Este concepto es empleado por las siguientes arquitecturas RTK, Virtual Reference Station (VRS), Individualized Master-Auxiliary (I-MAX) y Pseudo Reference Station (PRS).

Estas metodologías, están permitiendo aplicar hoy día la tecnología GNSS en un gran número de áreas, como en, la actualización de la cartografía, inventarios GIS, localización y seguimiento de flotas, agricultura de precisión, aplicaciones en minería. Sin duda alguna, en el campo de la topografía ha supuesto un gran avance, optimizando costes económicos y mejorando los rendimientos de campo. Si importante es la mejora de estos ámbitos, no menos importante es la posibilidad de conocer la calidad posicional en los levantamientos topográficos y replanteos, a través, de diferentes pruebas de conformidad, además de, en aspectos fundamentales del campo de la Ingeniería Civil y la Minería.

En este último contexto, se plantea la investigación denominada "Aplicación de los servicios proporcionados por una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería". Consistirá en la evaluación de las metodologías de posicionamiento en tiempo real (RTK), aplicadas a los trabajos que se realizan en estas ingenierías, apoyándose en una Red de Estaciones de Referencia Permanentes (CORS), en este caso, la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). El utilizar una red de estaciones permanentes, permite eliminar errores que dependen exclusivamente de la distancia entre el receptor de referencia y el receptor móvil, obteniendo una posición más precisa y homogénea, con cobertura global dentro del área determinada por la red, además, presenta la ventaja de utilizar un solo receptor, lo que supone un ahorro de tiempo y un ahorro económico, en

la realización de cualquier trabajo topográfico, si lo comparamos con la aplicación de metodología convencional, de posicionamiento Real Time Kinematic (RTK).

1.2.- HIPÓTESIS DE PARTIDA Y OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este trabajo de investigación "Aplicación de los servicios proporcionados por una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería" trata de demostrar que trabajos realizados en ambos campos, pueden ejecutarse utilizando los servicios proporcionados por una Red Geodésica Activa de forma efectiva y dinámica.

En base a estos planteamientos, se establecen las siguientes hipótesis de partida:

1. La utilización de los servicios proporcionados por una Red de Estaciones Permanentes (Red Geodésica Activa), ofrecen una calidad posicional suficientemente buena, para poder ser aplicados en levantamientos topográficos y replanteos.
2. Los trabajos topográficos que se realizan en Ingeniería Civil y Minería pueden aplicar este sistema de forma dinámica y efectiva, con la ventaja de utilizar un solo receptor GPS.

Se establecen dos objetivos generales para validar las hipótesis de partida:

- ✓ El primero de ellos consiste en evaluar y caracterizar una Red Geodésica Activa en cuanto a su calidad posicional, funcionamiento y rendimiento del sistema.
- ✓ El segundo se basa, en analizar el rendimiento obtenido al realizar trabajos topográficos aplicados en distintos proyectos de Ingeniería Civil y Minería, utilizando los servicios de una Red Geodésica Activa.

Para conseguir los objetivos generales se plantean los objetivos específicos siguientes:

- ✓ Determinar la precisión en el posicionamiento en Real Time Kinematic (RTK).
- ✓ Calcular la exactitud de las medidas obtenidas.
- ✓ Obtener el tiempo de resolución de ambigüedades.
- ✓ Determinar la homogeneidad de las soluciones ofrecidas.
- ✓ Realizar trabajos vinculados a la Ingeniería Civil y Minería, utilizando metodología en tiempo real RTK apoyándonos en una Red Geodésica Activa.
- ✓ Obtener el tiempo de toma de datos.
- ✓ Determinar la calidad o precisión de los datos obtenidos.
- ✓ Determinar caídas de datos del sistema y tiempo de recuperación.
- ✓ Comprobar el funcionamiento de la red de difusión de datos.

1.3.- ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El documento se estructura en los siguientes capítulos:

Capítulo I.- Introducción, hipótesis de partida y objetivos.

Capítulo II.- GPS. Revisión del sistema GPS.

Capítulo III.- Redes geodésicas Activas. Descripción del estado del arte de las cuestiones tratadas posteriormente, profundizando en los estudios previos que sirven como punto de partida de esta tesis doctoral.

Capítulo IV.- Trabajos realizados. Exposición de los diferentes métodos aplicados en este estudio, materiales empleados y muestra de los resultados obtenidos. Conclusiones.

Capítulo V.- Aplicaciones en Ingeniería Civil y Minería.

Finalmente, se presentan las Referencias Bibliográficas consultadas y los Anexos que refuerzan y complementan determinados aspectos del documento.

CAPITULO II.- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

2.1.- INTRODUCCIÓN

Las siglas GNSS (Global Navigation Satellite System - Sistema de Navegación Global por Satélite), fueron formuladas por la ICAO (International Civil Aviation Organization - Organización Internacional para la Aviación Civil), de las Naciones Unidas, que las definió de la siguiente forma:

"GNSS es un sistema de cobertura global para determinar la posición y el tiempo, que puede estar formado por una o más constelaciones de satélites, por receptores aeronáuticos, por un sistema de monitoreo de la integridad de la señal y complementado con los sistemas de aumentación para dar soporte a las diferentes operaciones y maniobras que habitualmente se realizan en la navegación aérea".

Un sistema global de navegación por satélite, se refiere al conjunto de tecnologías, de sistemas de navegación basado en, satélites emisores de radiofrecuencias que permiten conocer el posicionamiento y la localización en cualquier parte del globo terrestre, independientemente de las condiciones atmosféricas, de manera continua y para cualquier número de usuarios.

A continuación, se detalla cronológicamente la evolución del sistema GPS.

1973: El secretario de defensa estadounidense decidió que los diferentes sistemas de navegación que estaban en proceso de creación debían unificarse, por lo que, crearon un único y sólido sistema de navegación.

1974: Rockwell International, fue contratado como proveedor de satélites GPS.

1974: Se lanza el primer satélite de la constelación NAVSTAR.

1978: Comenzó el lanzamiento del primer bloque de satélites. Un total de 11 fueron lanzados entre los años 1978 y 1985.

1982: DoD (Department of Defense) Departamento de defensa EE.UU. decide reducir la constelación de 24 a 18 satélites.

1983: Tras la caída de la Unión Soviética, Estados Unidos informa que el sistema GPS podrá ser utilizado por las aeronaves civiles.

1988: El secretario de las Fuerzas Aéreas Estadounidense, anuncia la expansión de la constelación GPS, pasando de 18 a 21 satélites, además de tres que quedan de repuesto.

1989: El primer satélite, de un bloque de 28 es lanzado en Cabo Cañaveral, Florida.

1990: El departamento de defensa activa la Disponibilidad Selectiva, una degradación planeada en la exactitud del sistema. El sistema es probado en la Guerra del Golfo Pérsico.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

1990: 43 laboratorios de Estados Unidos que requieren tiempo preciso, utilizan el sistema GPS para sincronizar los relojes atómicos.

1991: El gobierno ofrece el sistema de GPS a la comunidad internacional, sin costo durante los próximos 10 años.

1993: El gobierno declara formalmente que el sistema está funcionando con sus 24 satélites en órbita.

1994: Los vehículos espaciales (SV) GPS operacionales del Bloque II y IIA se ponen en funcionamiento.

1995: La Fuerza Aérea de EE.UU. anunció que el sistema GPS había cumplido con todos los requisitos de capacidad operativa plena, con 24 SV del Bloque II en órbita.

1995: El presidente de Estados Unidos, Bill Clinton se compromete por escrito con la ICAO a proveer de señales GPS a la comunidad internacional.

2000: El 2 de mayo el Gobierno de Estados Unidos desactiva la Disponibilidad Selectiva.

2001: Rusia se compromete a restaurar el sistema de navegación por satélite "GLONASS"

2003: Alemania, Francia, Italia y Reino Unido establecen un acuerdo sobre el sistema de satélites Galileo con la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea. Galileo tienen un uso fundamentalmente civil.

2004: El gobierno de los EE.UU. firma un Acuerdo de Cooperación con la Comunidad Europea, en relación al establecimiento del GPS y el Sistema Europeo Galileo.

2004: En EE.UU. la empresa QUALCOMM anuncia el éxito de una prueba de GPS asistido para teléfonos móviles.

2005: Se pone en marcha la primera modernización de satélites GPS. Comenzó a transmitir una segunda señal civil (L2C) para dar un mejor rendimiento al usuario.

2007: El envejecimiento del Segmento de Control basado en mainframe, ha facilitado la transición al Plan Architecture Evolution (AEP). La Fuerza Aérea pasa a llevar el control de dicho plan.

2007: 27 Estados miembros de la Unión Europea acuerdan seguir adelante con el proyecto Galileo. El sistema de navegación Galileo debería estar en funcionamiento en 2013.

2009: La Oficina de Contabilidad del gobierno de los EE.UU. emitió un informe advirtiendo que algunos satélites GPS podían fallar próximamente, estimando que podría ser en 2010. Se completan los lanzamientos de los satélites del Bloque IIR-M.

2010: Comienza el lanzamiento de los satélites del Bloque IIF

2.2.- NAVSTAR GPS

En este punto se exponen las características fundamentales de la Constelación Navstar, al ser la que ha funcionado durante más tiempo y de manera continua.

La constelación GPS NAVSTAR (Acrónimo de Navigation Satellite Timing And Ranking Global Positioning System) Sistema de Posicionamiento Global basado en tiempo y distancia, está constituida por un número determinado de elementos que nos permiten obtener las coordenadas de cualquier punto terrestre, referidas a un sistema único, global o universal. Es un sistema pasivo, diseñado para uso militar con un amplio rango de precisión en la obtención de coordenadas en función: del tipo de receptor y la técnica empleada.

El sistema está constituido por los siguientes Bloques:

1. Bloque Espacial.
2. Bloque de Control.
3. Bloque Usuario.

2.2.1.- BLOQUE ESPACIAL

Está constituido por una constelación de satélites denominada NAVSTAR, tanto el número de satélites como la disposición geométrica de los mismos, está influenciada por los criterios de disponibilidad para los usuarios, por tener una cobertura global y por mantener un funcionamiento continuo. Atendiendo a estos criterios, la Constelación NAVSTAR está constituida por 24 satélites, distribuidos en seis planos orbitales de 55° de inclinación y uniformemente distribuidos con respecto al ecuador. En cada plano orbital se distribuyen 4 satélites, situados regularmente a una altura de 20000 Km., la constelación se completa con satélites que han sido desactivados, pero siguen estando disponibles como reserva.

Cada satélite viaja a una velocidad de 4 km/s y necesita 12 horas sidéreas para completar su órbita. La constelación actual, con una geométrica favorable garantiza una cobertura global, con un número de satélites de entre 6 y 11, siendo el tiempo máximo de observación de 4h y 15', bajo el supuesto de que sólo se observen alturas de horizonte superiores de 15°.

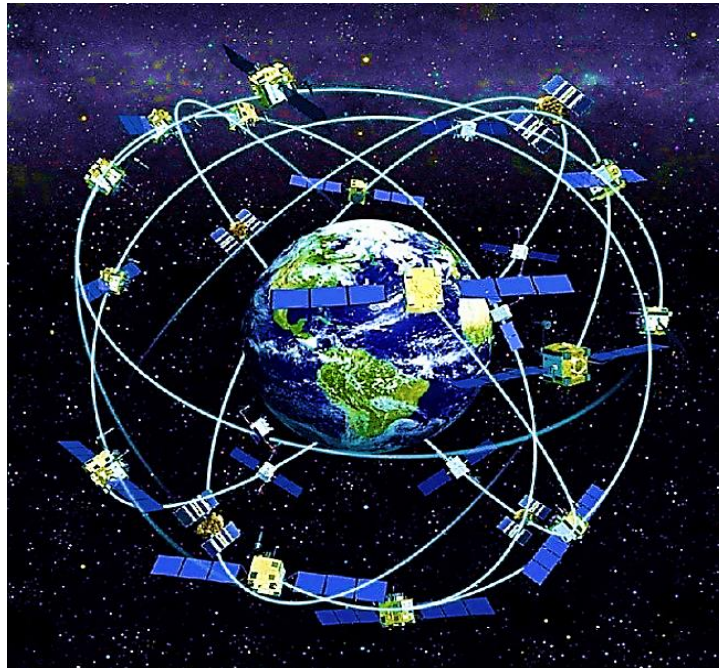


Fig. 1.- Constelación NAVSTAR. Fuente: <https://www.space.com>

Los satélites GPS se lanzaron en distintas fases; a cada grupo de satélites se le conoce como bloque.

Bloque I de Satélites GPS

El primer bloque de satélites GPS, está compuesto por los once primeros satélites que se lanzaron al espacio, adjudicados a Rockwell International. Se corresponden con los satélites 1 a 11, que fueron lanzados entre los años 1978 y 1985. Sirvieron para validar el proyecto y estaban situados a una altitud de 20200 km. Aunque su tiempo de vida estimado era de 5 años, orbitaron más de lo previsto. Actualmente, ninguno de ellos está en servicio.

Bloque II de Satélites GPS

El segundo bloque de satélites se lanzó al espacio entre 1989 y 2016. Se conocen como: Block II, Block IIA, Block IIR, Block IIR-M y Block IIF.

Los satélites del Block II se lanzaron entre 1989 y 1990. También fueron desarrollados por Rockwell International y actualmente ninguno de ellos presta servicio.

Los satélites del Block IIA se lanzaron entre 1990 y 1997. Su vida útil era de 7 años y medio, con Código de Adquisición Coarse (C/A) en la frecuencia L1 para usuarios civiles y Código P(Y) preciso en las frecuencias L1 y L2 para usuarios militares.

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

Los satélites pertenecientes al denominado Block IIR se lanzaron entre 1997 y 2004. Su vida de diseño útil era de 7 años y medio, con Código (C/A) en L1, Código P(Y) en L1 y L2, contando, además con mejoras en los osciladores de abordo.

Los satélites del Block IIR-M se lanzaron entre 2005 y 2009. Su diseño de vida útil era de 7 años y medio. Disponían de todas las señales heredadas, además de la segunda señal civil en L2 (L2C), nuevas señales de código M para mejorar la resistencia a las interferencias y con niveles de potencia flexibles para aplicaciones del Ejército.

Los satélites pertenecientes al denominado Block IIF se lanzaron entre 2010 y 2016. Su diseño de vida útil es de 12 años. Envían todas las señales que emiten el Block IIR-M, además de, la tercera señal civil en la frecuencia L5 (L5C). Se incluyen relojes atómicos avanzados, consiguiendo mejoras en la precisión, potencia y calidad de la señal.

Los nuevos satélites en fase de producción y con un diseño de vida útil de 15 años, se denominan GPS III/IIIF, ofrecerán las mismas señales que los del Block IIF además de, la cuarta señal civil en la frecuencia L1 (L1C). Presentan mejoras en la señal, en cuanto a fiabilidad, precisión, integridad y sin disponibilidad selectiva. También, llevan incorporados reflectores láser para búsqueda y rescate de carga útil. Su lanzamiento estaba previsto para el año 2018.

A fecha 12 de mayo de 2018, hay un total de 31 satélites operativos en la constelación GPS, sin incluir los recambios en órbita fuera de servicio. Un satélite del Block IIA, once del Block IIR, siete del Block IIR-M y doce del Block IIF. Se puede consultar en la dirección <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> de la web GPS: gov, 2019.

Para realizar su misión, consiguiendo plena operatividad, los satélites disponen de diferentes componentes con distinto grado de precisión. Estos componentes son: paneles solares, antenas para enviar y recibir las señales, motores para maniobras y relojes atómicos.

Los satélites portan paneles solares, que les permiten recargar las baterías de Ni-Cd que utilizan para su desplazamiento en zonas oscuras. Disponen de antenas para poder recibir y almacenar la información que se les envía desde los centros de control de tierra, transmitiendo señales continuamente. Los satélites pueden transmitir mensajes como: parámetros de posición, señales de tiempo, así como, otras informaciones adicionales. La transmisión se realiza a través de la banda L del espectro electromagnético, en las frecuencias correspondientes al intervalo (390 MHz - 1500 MHz), mientras que los circuitos emisores y receptores de los centros de control operan en la banda S.

Para controlar los movimientos del satélite se dispone de diferentes elementos, como, volantes de inercia impulsados por motores sincrónicos, cuyos ejes están distribuidos en tres direcciones perpendiculares entre sí.

Los satélites pueden ser identificados de diferentes formas: número Nasvtar que indica el orden de lanzamiento, número de órbita y posición que ocupa en ella, número de catálogo de la NASA, identificación internacional, que determina el año de lanzamiento, número y letra según tipo o por el número IRON (Integer Range Operation Number), que es un número aleatorio asignado por la Junta de Defensa Aérea Norteamericana, NORAD de Estados Unidos y Canadá.



Fig. 2.- Satélite GPS III/IIIF en producción.
Fuente: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

Sin embargo, lo más característico y exclusivo que identifica a un satélite de la constelación NAVSTAR, es su PRN o ruido seudo aleatorio (Pseudo Random Noise).

Otro de los componentes, que llevan a bordo los satélites son osciladores o relojes atómicos, utilizados para la fuente de frecuencia. La unidad de tiempo del Sistema Internacional (S.I.), es el segundo, que se definió como, la duración de 9192631770 periodos de la radiación asociada a la transición hiperfina del estado base del átomo de Cesio-133 a temperatura de cero absoluto, en la décimo tercera Conferencia General de Pesas y Medidas de París celebrada en 1967.

Actualmente, los relojes atómicos son los más precisos, siendo, el del isótopo Cesio-133, el más generalizado, con error de un segundo cada 30.000 años. Cada satélite GPS, suele llevar de dos a cuatro relojes atómicos, que pueden ser de rubidio (Rb) o cesio (Cs), con precisiones del orden de 10^{-12} y 10^{-13} nanosegundos, respectivamente. Los

satélites pertenecientes al denominado Block IIF, llevan relojes atómicos avanzados, mejorando la precisión, potencia y calidad de la señal. La característica más importante de un oscilador utilizado en un satélite GPS, es su estabilidad en corto y largo periodo de tiempo.

El reloj u oscilador emite una frecuencia fundamental de 10.23 MHz, sobre la que se modulan las distintas señales radiodifundidas por el satélite. Su escala de tiempo se denomina GPS-Time y toma como unidad de medida, el segundo de tiempo atómico, escala de tiempo uniforme e independiente de las variaciones de rotación de la tierra, que tiene como origen el tiempo universal coordinado (UTC), correspondiente a las cero horas del día 6 de enero de 1980. (Núñez et al,1992)

2.2.1.1.- Cálculo de la Posición

La posición de un usuario en tierra puede calcularse utilizando los satélites GPS que orbitan continuamente alrededor de la Tierra, utilizando conceptos muy simples. El primer concepto, se centra en conocer la posición de los satélites y realizar una trilateración inversa, al menos a cuatro de ellos, que consiste en medir la distancia que existe entre el receptor del usuario y los cuatro satélites. El receptor del usuario conoce la posición por las efemérides transmitidas por los satélites.

Para realizar la medición de distancias se emplea el segundo concepto:

$$D = V \times t \quad (\text{Ec.2.1})$$

La velocidad en posicionamiento GPS, o velocidad a la que se desplazan las señales de radio es igual a la velocidad de propagación de la luz (299792,458 m/s). Por otra parte, los satélites emiten ondas de radio y el reloj nos facilita información del tiempo que necesita la señal en llegar desde el satélite al receptor, por lo que, con los parámetros conocidos de velocidad y tiempo, se determina la distancia que existe a cada uno de los satélites. Disponiendo de cuatro satélites, se tendría la posición del receptor sobre la superficie terrestre, determinando las cuatro incógnitas, coordenadas x, y, z y el parámetro tiempo.

Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto de la superficie de una esfera, que tiene como centro, el propio satélite y como radio, la distancia entre el satélite y el receptor.

La resolución geométrica de la posición del receptor, se encuentra en la intersección de las cuatro esferas, como puede observarse en la Fig. 3

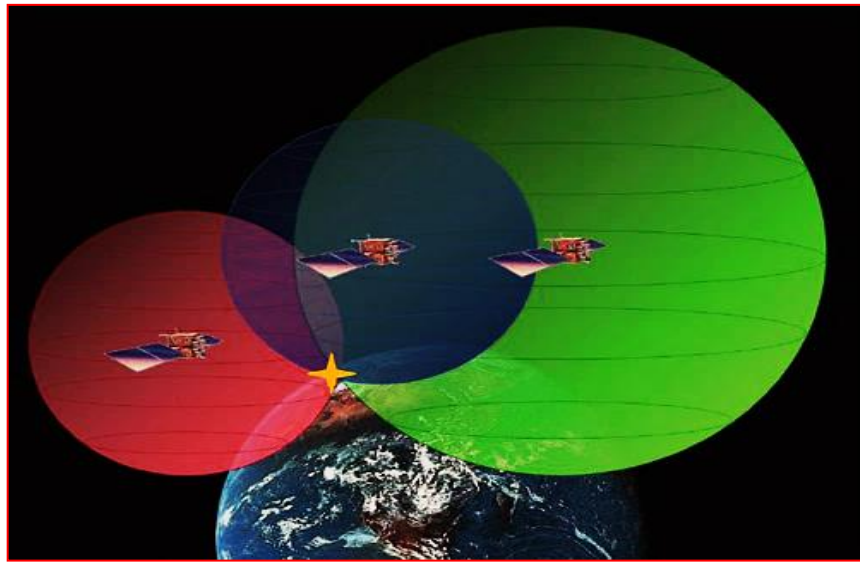


Fig. 3.- Trilateración cuatro satélites GPS. Fuente: gps-tpe.e-monsite.com

Se puede consultar en la página Web GPS.gov, 2019 en la siguiente dirección:
<https://www.gps.gov/multimedia/tutorials/trilateration/>

2.2.1.2.- Sistema de Referencia

El sistema convencional de referencia terrestre (CTRS), adoptado para el posicionamiento GPS, se denomina World Geodetic System 1984 (WGS84); es un sistema de referencia global geocéntrico, en el que se deben considerar, los movimientos de la tierra y del eje de rotación. El elipsoide de referencia es el WGS84, obtenido exclusivamente a partir de los datos de la constelación de satélites GPS, a nivel práctico, el GRS80 (Geodetic Reference System 1980) y el WGS84, se pueden considerar idénticos. Este sistema, queda definido por:

- El origen en el geocentro, siendo éste el centro de masas terrestres.
- El eje Z, que será paralelo a la dirección del Origen Convencional Internacional (C.I.O), posición del polo medio definido por BIH. (Bureau International de l'Heure).
- El eje X, que es la intersección del plano meridiano de referencia (Greenwich) y el plano del ecuador astronómico medio.
- El eje Y, que estará situado en este plano y que constituye junto con X y Z un sistema coordenado rectangular (Dextrorsum).

Los valores de las constantes son:

$a = 6378137 \text{ m. (semieje mayor)}$ $b = 6356752,3 \text{ m. (semieje menor)}$

$GM = 3986005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ $W = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

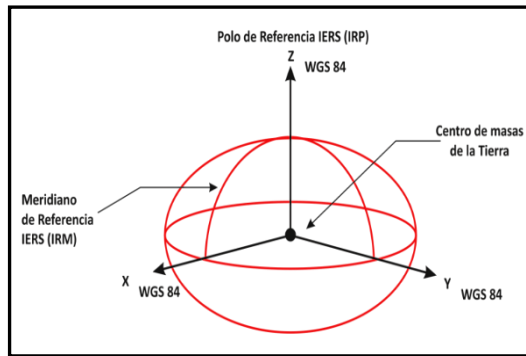


Fig. 4.- Sistema de Referencia
Fuente: autor

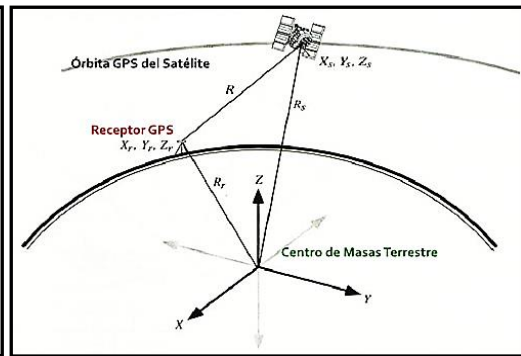


Fig. 5.- Determinación de Coordenadas
Fuente: autor

En la fig. 5, R_s es la distancia del punto en que se encuentra el satélite en su órbita, al centro de masas terrestre, esta distancia se calcula en función de los datos de efemérides transmitidos en el mensaje de navegación y R es la distancia medida en el receptor. Las coordenadas finales, son el resultado de transformar las coordenadas de un sistema geocéntrico instantáneo al sistema convencional de referencia terrestre (CTRS). Para pasar del sistema rectangular instantáneo al WGS84, es necesario conocer la variación del polo instantáneo, respecto al polo medio (Fig 6), estos valores son publicados por el BIH y sus componentes (x_p y_p) se expresan en segundos de arco. (Núñez et al,1992)

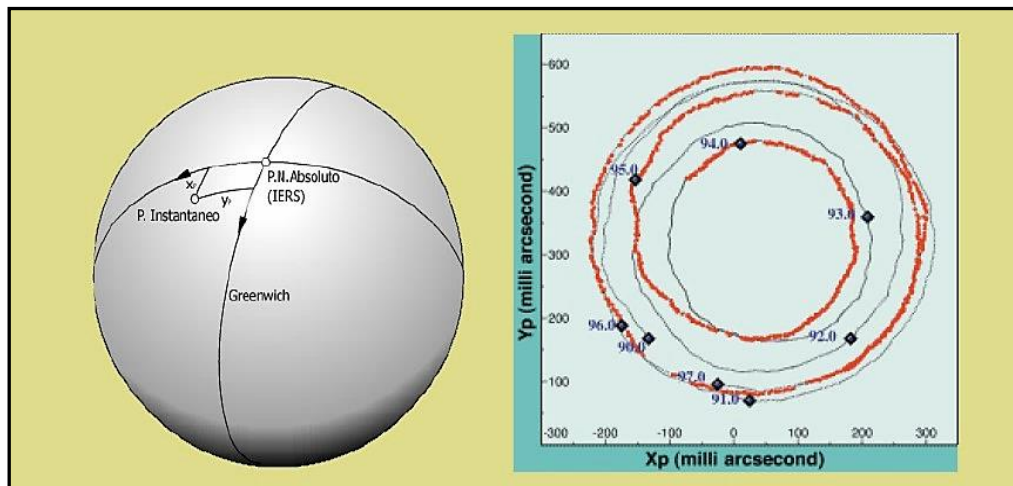


Fig. 6.- Sistema de referencia y coordenadas en la que se expresa el movimiento del polo.
Fuente: modificada de (A. Martín, 2010.)

2.2.1.3.- Componentes de la Señal

Los satélites emiten diferentes señales sobre dos portadoras, obtenidas a partir de una frecuencia fundamental de 10.23 MHz y generada por el sistema emisor del satélite. La L1, con frecuencia de 1575,42 MHz, se obtiene al multiplicar la frecuencia

fundamental por 154, siendo su longitud de onda λ de 19,05 cm. La L2 cuya frecuencia es de 1227,60 MHz, se obtiene de multiplicar la frecuencia fundamental por 120, su longitud de onda λ es de 24,45 cm. Se utilizan dos portadoras con frecuencias diferentes para determinar el retardo ionosférico, pero ambas están en la banda L de radiofrecuencia que abarca desde 1 a 2 GHz. Sobre estas portadoras se modulan dos códigos y un mensaje de navegación.

El código C/A (Coarse/Acquisition) tiene una frecuencia de 1,023 MHz y se obtiene de dividir la frecuencia fundamental por el factor 10; el código P (Precise) se modula directamente sobre la frecuencia fundamental 10,23 MHz.

La modulación de las portadoras con los códigos y el mensaje de navegación, generan un ruido pseudo aleatorio (Pseudo Random Noise-PRN), que puede correlacionarse con la réplica generada por el receptor en tierra. Este PRN, es lo que caracteriza e identifica a cada satélite. El sistema utilizado para modular los códigos sobre las portadoras, es la modulación binaria por cambio de fase o modulación bifase (Biphase Shift Keying modulation-BPSK.). (Núñez et al,1992).

El mensaje de navegación se envía modulado a una frecuencia baja de 50 Hz, con una duración de 12' y 30''. La información enviada en este mensaje tiene gran valor para los receptores GPS. Su formato determina que, está constituido por 25 grupos de 1500 bites cada uno, con una velocidad de transmisión de 50 baudios y cada grupo es transmitido a intervalos de 30 segundos. Cada grupo se divide a su vez en 5 celdas de 300 bites cada una y cada celda en palabras de 30 bites de longitud. Dentro de cada grupo las celdas, la 1, 2 y 3 son invariables, no cumpliéndose esta característica en las celdas 4 y 5. Al existir 25 grupos, se dispone de 25 celdas número 4 y 25 celdas número 5, llamadas páginas, siendo todas diferentes.

El contenido del mensaje es el siguiente:

La celda 1, contiene información sobre el estado del reloj en GPS Time e información sobre el estado del satélite.

Las celdas 2 y 3, contienen las efemérides radiodifundidas.

La celda 4, sólo utiliza 10 de sus 25 páginas y ofrece un modelo ionosférico para usuarios de monofrecuencia, información UTC, etc. De las 15 páginas restantes, 11 de ellas están en reserva, 3 están disponibles para repuestos y la última queda asignada para mensajes especiales. También contendría el almanaque y estado del reloj de los satélites que superan el número 24.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

La celda 5, contiene el almanaque y estado del reloj de los primeros 25 satélites. En el comienzo de las 5 celdas hay dos palabras especiales, TLM y HOW, la primera informa del momento en que se está insertando información o manipulando el satélite y la segunda HOW (Hand Over Word) da acceso al código P y para usuarios autorizados al Y, si está activado el (AS).

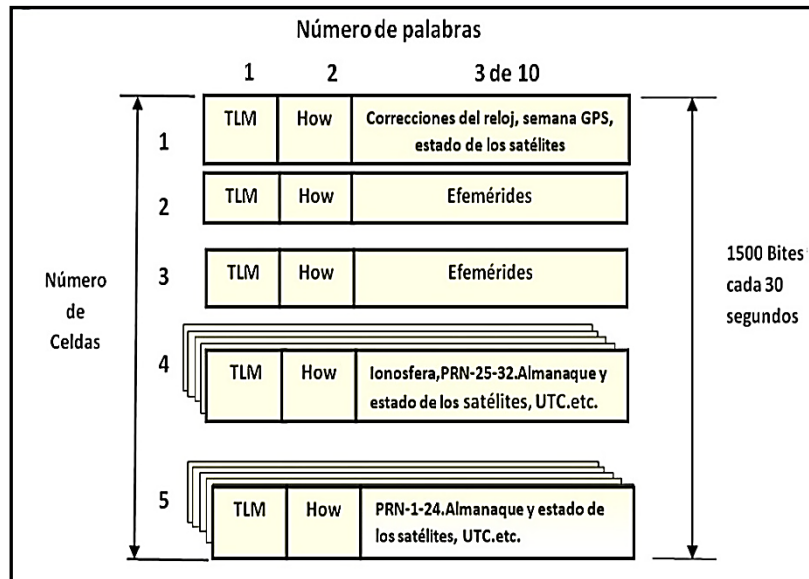


Fig. 7.- Composición Mensaje de Navegación: Fuente: modificado de J. Van Sickle. 2008

Los códigos se utilizan para posicionamiento absoluto y su principal aplicación se desarrolla en el campo de la navegación. El código C/A ofrece precisiones decimétricas, se utiliza para posicionamiento estándar SPS (Standard Positioning Service) en uso civil y se modula sobre la frecuencia L1. El código P o Preciso (Precise Positioning Service PPS) tiene uso militar, así como, para usuarios autorizados y se modula en L1 y L2. (J. Van Sickle. 2008)

L2C es la segunda señal de GPS civil, diseñada específicamente para satisfacer las necesidades comerciales. Su nombre obedece a la frecuencia de radio utilizada por la señal (1227 MHz, o L2) y al hecho de que es para uso civil. También hay dos señales militares en la frecuencia L2. Cuando se combina con L1 C/A en un receptor de doble frecuencia L2C, permite la corrección ionosférica, una técnica que aumenta la precisión. L2C, permite la adquisición de la señal con mayor rapidez, una confiabilidad mejorada y un mayor rango de operación. Transmite a una potencia efectiva mayor que la señal L1 C/A heredada, lo que facilita la recepción debajo de árboles e incluso en interiores.

El primer satélite GPS con L2C se lanzó en 2005, cada satélite GPS desplegado desde entonces ha incluido un transmisor L2C. En abril de 2014, la Fuerza Aérea Norteamericana comenzó a transmitir mensajes de navegación civil (CNAV) en la señal L2C. Sin embargo, L2C sigue estando en periodo de prueba, por lo que, si es utilizado

antes de que se declare operativo, será el usuario el que asuma el riesgo que pueda deribarse.

La señal L5, es la tercera señal de GPS civil, se obtiene a partir de la fundamental, con una frecuencia de 1176,45 MHz. Cuando se utiliza en combinación con L1, C/A y L2C, la señal L5 proporcionará un servicio altamente sólido; con el uso de tres frecuencias GPS, se puede conseguir una precisión submétrica. En 2009 la Fuerza Aérea de EE.UU. transmitió con éxito una señal experimental L5 en el satélite GPS IIR-20 (M). En mayo de 2010, se lanzó el primer satélite GPS IIF con un transmisor L5 completo. En abril de 2014, la Fuerza Aérea comenzó a transmitir mensajes de navegación civil (CNAV) en la señal L5, sin embargo, L5 sigue en estado de prueba, por lo que de ser utilizado lo será por cuenta y riesgo del usuario, hasta que se declare definitivamente operativo.

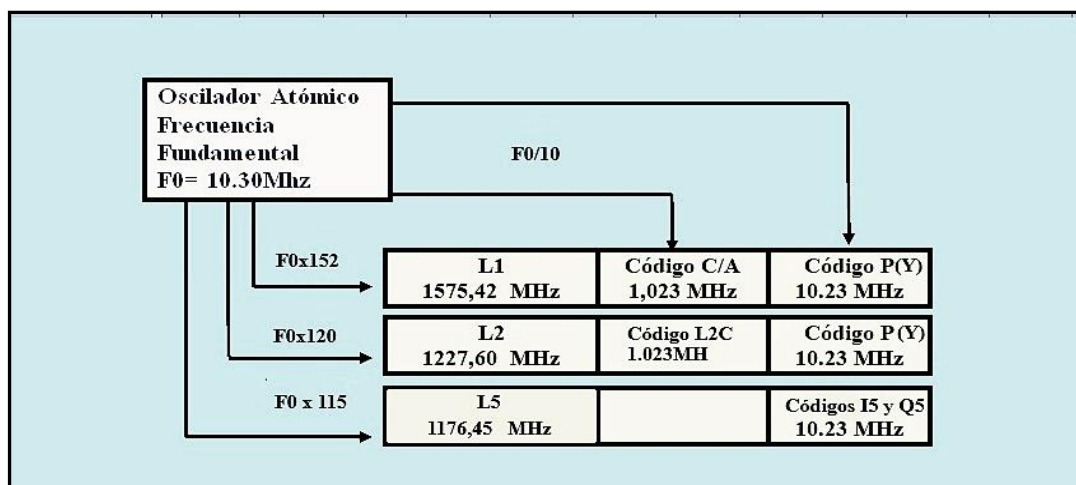


Fig. 8.- Componentes de la señal emitida por los satélites. Fuente: autor

L1C, es la cuarta señal civil de GPS, diseñada para permitir la inter-operabilidad entre GPS y los sistemas internacionales de navegación por satélite. Su nombre se referencia a la frecuencia de radio utilizada por la señal (1575 MHz, o L1) y al hecho de que es para uso civil. También hay dos señales militares en L1, así como la señal C/A heredada. No debe confundirse L1C con L1 C/A. Comienza en 2018 con GPS III y a finales de 2020, estará disponible en 24 satélites GPS.

Esta información puede consultarse en la página GPS, gov, 2019, en la siguiente dirección: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization>

2.2.1.4.- Ondas Electromagnéticas

Las ondas emitidas por los osciladores de los satélites son ondas de radio, en su viaje desde el satélite al receptor, deben atravesar diferentes zonas, que modifican la propagación de éstas en su viaje, estas modificaciones dependen de las características de la zona por la que se desplazan. Estas zonas son: el vacío, la ionosfera y la troposfera.

El retardo, se define como el error en la determinación del tiempo de propagación de una señal electromagnética entre dos puntos, cuando se desplaza por un medio distinto del vacío.

Este retardo responde a dos efectos, efectos de refracción que se producen al atravesar la señal un medio que presenta distintas propiedades electromagnéticas, independientemente de la dirección en que se midan y efectos de relatividad, que se producen al propagarse la señal entre dos puntos de diferente velocidad relativa y gravedad.

El retardo, es inexistente en el vacío, siendo posible determinar perfectamente el tiempo de recorrido al ser proporcional a la distancia, estar en función de la velocidad de la luz y no depender de la frecuencia de la onda considerada.

En la ionosfera, está comprendida entre 100 y 1000 Km. de altitud, la zona hasta los 400 km de altura, presenta la mayor concentración de electrones libres encontrados por la señal en su camino. El retardo de la señal es proporcional al número de éstos, por lo que, cuando la señal atraviesa esta zona, se produce un alargamiento de la longitud de onda, que es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia emitida, el retardo también varía con la latitud, dirección y momento de la observación. Este error afecta a la medida de la distancia entre satélite y receptor, que puede llegar a alcanzar valores de 30 m, pero la utilización de equipos bifrecuencia permite que pueda ser eliminado. Como el retardo es proporcional a la longitud de onda y por tanto distinto para cada frecuencia, se podrá observar un retardo diferencial entre ambas.

La última zona atravesada es la troposfera y aunque llega a 80 Km de altitud, sólo en los 40 Km inferiores se producen retardos significativos, aquí la atmosfera comprime la longitud de onda de la señal. El retardo troposférico es independiente de la frecuencia y su cancelación pasa por la utilización de modelos de corrección. (Saastamoinen,1972; Hopfiel,1969; Goad and Goodman,1974; Blak,1978). (Núñez et al,1992).

Existe otro error independiente de la emisión de las ondas, al que se denomina error multicamino o multisenda, que se produce por el rebote de la señal antes de llegar al receptor. La eliminación de este error pasa por la correcta colocación de la antena del receptor, teniendo en cuenta que no existan edificios, árboles o cualquier otro obstáculo. Este error obliga a limitar la altura de los satélites sobre el horizonte, es decir, configurar lo que se denomina "mascara de elevación" siendo la más usual 15°, por lo que se eliminarán todos los satélites, cuya altura esté por debajo de esta máscara.

2.2.2.- BLOQUE DE CONTROL

El bloque de control está formado por una serie de instalaciones terrestres situadas estratégicamente que forman una red de estaciones distribuidas por toda la Tierra. Realizan diferentes funciones como: rastrear los satélites, controlar sus transmisiones, realizar análisis de datos, enviar comandos y datos a la constelación GPS. Atendiendo a

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “

las funciones descritas se dividen en: estación de control maestra, estaciones de monitoreo y grandes antenas. Su localización puede observarse en la fig. 9.

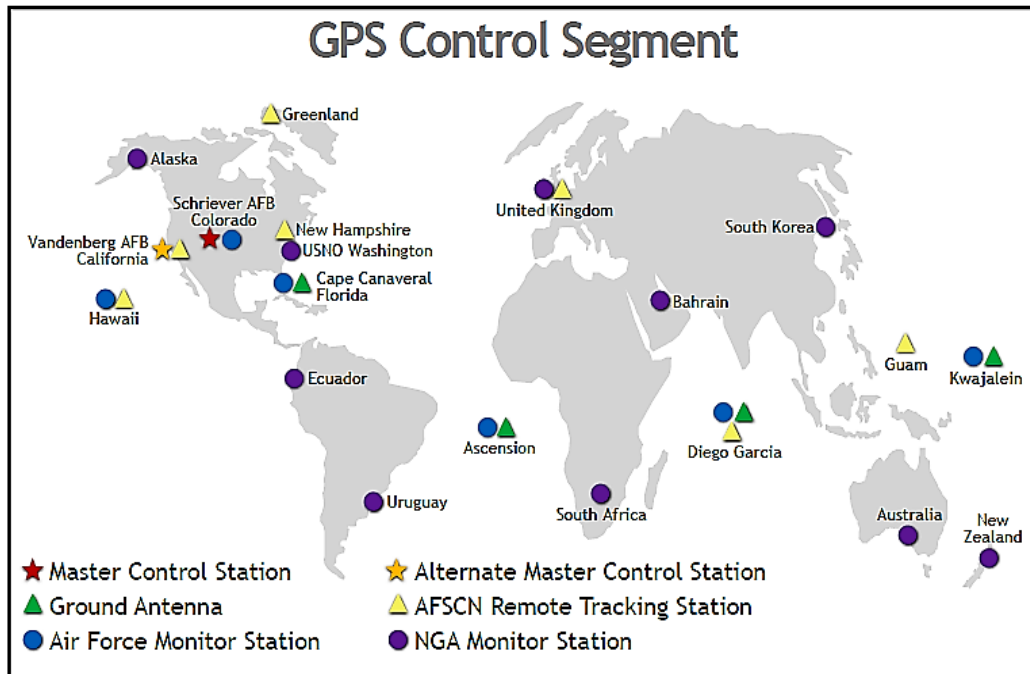


Fig. 9.- Localización de las estaciones de control del sistema GPS.

Fuente: <https://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>

Actualmente, la Fuerza Aérea Norteamericana controla la constelación GPS operacional a través de un sistema llamado AEP, sistema capaz de administrar todos los satélites GPS actuales.

El Segmento de Control Operacional OCS, (Operational Control Segment), incluye una estación de control maestra y otra alternativa, 11 antenas de tierra y 16 estaciones de monitoreo. La ubicación de estas instalaciones se muestra en la fig. 9.

2.2.2.1.- Estaciones de Monitoreo

Rastrean los satélites GPS a medida que pasan por su horizonte local y recopila señales de navegación, medidas de la señal portadora y datos atmosféricos. También realiza observaciones de suministro a la estación de control principal, utiliza receptores GPS sofisticados y proporciona cobertura global a través de 16 estaciones.

2.2.2.2.- Estación Master Control

La Estación Master Control, proporciona la dirección y control de la constelación GPS. Utiliza datos de estación de monitoreo global para calcular la ubicación de los satélites con precisión. Genera mensajes de navegación para enviar a los satélites. Supervisa las transmisiones entre ellos y la integridad del sistema para garantizar el buen

estado y la precisión de la constelación. Realiza mantenimiento de satélites y la resolución de anomalías, incluido el reposicionamiento de satélites para mantener la constelación óptima.

Actualmente utiliza sistemas separados AEP (Architecture Evolution Plan), referidos al Plan de Evolución de la Arquitectura, implementado en 2007. Bajo este plan, la Fuerza Aérea Norteamericana reemplazó a su original. Launch/Early Orbit, Anomaly Resolution, and Disposal Operations (LADO) Operaciones de lanzamiento / órbita temprana, resolución de anomalías y eliminación para controlar los satélites operativos y no operativos, apoyado por una estación maestra de control completamente operacional.

2.2.2.3.- Antenas de Tierra

Las antenas de tierra tienen varias misiones: enviar comandos, cargar datos de navegación y programas a los satélites, así como, recopilar datos de telemetría. Se comunica con los satélites a través de la banda S y realiza una alineación de banda S para proporcionar resolución de anomalía y compatibilidad con la órbita temprana. Está constituida por 4 grandes antenas terrestres GPS y 7 estaciones remotas de rastreo de la Red de Control de Satélites de la Fuerza Aérea (AFSCN). Se puede consultar en la página Web GPS.gov, 2019 en la siguiente dirección <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

2.2.3.- BLOQUE USUARIO

Está formado por los receptores GPS que reciben la señal de los satélites y permite determinar la posición a los usuarios del sistema. La tecnología GPS ha facilitado el desarrollo de cientos de aplicaciones que afectan todos los aspectos de la vida moderna. La tecnología GPS, actualmente está presente en prácticamente todas las actividades cotidianas, desde uso de teléfonos móviles, relojes de pulsera, contenedores de envío, cajeros automáticos, empleo en sistemas de navegación, sistemas de información geográfica, cartografía, topografía, transportes etc. Ante esta variedad de aplicaciones existen en el mercado un gran número de receptores con diferentes características, en función de la actividad a la que se destine y de los métodos que se apliquen.

Básicamente un receptor GPS está compuesto por una antena que porta un preamplificador para captar las señales de la constelación y un sensor o receptor que permite descodificar la información recibida de los satélites. El equipo se completa con una controladora, interface que nos permite ver la información, configurar el receptor, almacenar observaciones etc., se completa con diferentes aplicaciones o programas que nos facilitan el cálculo y el trabajo diario.

2.2.3.1.- Antena

La función principal de la antena es recibir la señal radioeléctrica emitida por el GPS y convertirla en una señal eléctrica, que contiene toda la información modulada sobre las portadoras. A partir de aquí, se realiza el posicionamiento del centro radioeléctrico de la antena, que no coincide con el centro físico del aparato, por lo que, los fabricantes de receptores especifican: una posición adecuada de medición de la antena y la necesidad de corregir la diferencia entre el centro radioeléctrico y en el centro físico, efecto que se conoce como APCA (*Antenna Phase Center Ambiguity*). Las antenas llevan un plano de tierra con el fin de mitigar o evitar la recepción de señales reflejadas en el suelo u objetos cercanos, denominado efecto multicamino o (Multipath).

2.2.3.2.- Sensor o Receptor

Una vez que la antena ha recibido la señal emitida por los satélites, ésta pasa al sensor o receptor que permite su descodificación a partir de los diferentes canales disponibles, uno para cada satélite y frecuencia, se multiplica por 1 ó 2 según el receptor sea monofrecuencia o bifrecuencia. Lleva un procesador interno que puede generar diferentes replicas, de código C/A y P, también, dispone de un oscilador (reloj) de gran estabilidad, aunque de inferior precisión que los situados a bordo de los satélites y se completa con diferentes conectores de salida externos para la controladora, antena, teléfono, etc.

2.2.3.3.- Controladora

Podría ser considerada como un ordenador, está conectada al sensor o receptor a través de cables o dispositivos bluetooth, funciona con baterías extraíbles y recargables de Ion-Litio. El sistema de almacenamiento de datos puede ser interno o a través de tarjetas extraíbles. La información aparece en una pantalla de cristal líquido y las más actuales son táctiles. El Software de campo nos permite realizar determinadas funciones, como, obtener información del número de satélites disponibles en nuestro horizonte y del estado de la batería, etc. Entre sus diferentes opciones, nos permite configurar el trabajo asignando el sistema de coordenadas, lista de códigos, opciones de configuración (levantamiento, instrumento y comunicaciones), así como la posibilidad de utilizar diferentes aplicaciones (replanteo, cálculos geométricos, líneas de referencia, determinación de sistemas de referencia etc.).

2.2.3.4.- Clasificación de los Equipos en función de los Observables

Los equipos GPS están condicionados por su instrumentación en función del tipo de observables y de la precisión exigida al sistema.

✓ Equipos Navegadores.

Son equipos que sólo realizan medidas de código, concretamente sólo código C/A., miden el tiempo de propagación de la señal enviada por los satélites. Al poner en funcionamiento el receptor, comienza a generarse el código, simultáneamente comienza a recibir código de los satélites sobre nuestro horizonte. Se compara el código generado y el código recibido, lo que permite medir el retraso (tiempo) en la llegada de la señal.

A estos receptores que sólo miden código se les denomina navegadores, siendo los equipos más básicos del mercado, en cuanto a sus componentes. La precisión del sistema está configurada para un estándar entre 100 y 300 metros y sus principales aplicaciones se desarrollan en el campo del ocio y la navegación.

✓ Equipos Monofrecuencia

Este tipo de equipos pueden realizar medidas de código y fase, para ello necesitan dos receptores que les permita aplicar el método relativo en el que se basa la medición de fase o el método diferencial para corrección de pseudodistancias. Normalmente operan en la frecuencia L1 y su precisión está en submétrico. Su aplicación principal se enmarca en el campo de la agrimensura.

✓ Equipos Bifrecuencia

En los equipos bifrecuencia, se compara la fase de la señal recibida con la fase de la señal generada por el equipo y se determina el correspondiente desfase. Estos equipos se utilizan en aplicaciones Topográficas y Geodésicas, siendo los de mayor precisión. Toman observables de las dos portadoras emitidas por los satélites, realizando medidas de código C/A y P en L1, de código P y L2C en L2, y medidas de fase en L1 y L2, permitiendo además modelar errores atmosféricos.

Actualmente el desarrollo de la electrónica permite determinar fracciones de ciclo con una incertidumbre del 1%. Según este estimador se podría medir con precisión cada observable, en función de su longitud de onda. El código C/A de 293 m de longitud de onda, puede ser medido con una precisión de 2,9 m; el código P con 29,3 m de longitud de onda, se mediría con una precisión de 29 cm, la frecuencia L1 con longitud de onda de 19,05 cm, se mediría con una indeterminación de 1,9 mm y finalmente la frecuencia L2 con 24,45 cm de longitud de onda, con precisión de 2,4 mm

Todos los equipos que forman parte del segmento usuario, se han visto favorecidos por el continuo desarrollo de la electrónica y la informática, lo que permite disponer en el mercado de gran número de ellos, que en un corto periodo de tiempo han mejorado sus prestaciones, consiguiendo ser más dinámicos y precisos, lo que facilita la realización de los trabajos de campo. (Núñez et al,1992).

2.3.- MEDICIÓN DE DISTANCIAS

Hay tres posibilidades para medir distancias:

1. Medidas Cuenta Doppler.
2. Medida de pseudodistancias a partir de medida de Códigos.
3. Medidas de fase.

2.3.1.- MEDICIÓN DOPPLER

Cuando el receptor de tierra recibe la señal del emisor, éste conoce la posición del satélite, en función de los datos de sus efemérides; para conocer las coordenadas del punto terrestre, debe relacionar su posición con la órbita del satélite. Esta relación puede conocerse midiendo la desviación Doppler; esta desviación está únicamente en función de la posición y movimiento del receptor con respecto a las efemérides del satélite.

La medición Doppler en el sistema GPS, es comparable a la utilizada por la constelación TRANSIT, la diferencia estriba en la altura de las orbitas, siendo de 1075 km en la constelación Transit, con una demora 107 minutos en recorrerla y de 20200 Km en la constelación GPS, con una demora de 12 horas. Como consecuencia, la variación de la distancia con el tiempo es mucho menor en el sistema GPS, por lo que, la cuenta Doppler, es más uniforme y menos precisa. GPS utiliza este procedimiento en los receptores de navegación y para mayor precisión, combinando otras técnicas de medición. (S. López, 1996).

2.3.2.- MEDIDA DE SEUDODISTANCIAS A PARTIR DE MEDIDA DE CÓDIGOS

Mediante el empleo de código, se representa información y se transmite. El receptor que se maneja es capaz de leer el código, además de, conocer las reglas que lo definen. La señal enviada por los satélites GPS, emite 3 códigos: código C/A, código P y un mensaje de navegación. Al encender el receptor, empieza a generar código y simultáneamente empieza a recibir código de los satélites sobre el horizonte pudiendo comparar el código generado y el código emitido. Se mide el retraso en la llegada de la señal y se determina el tiempo.

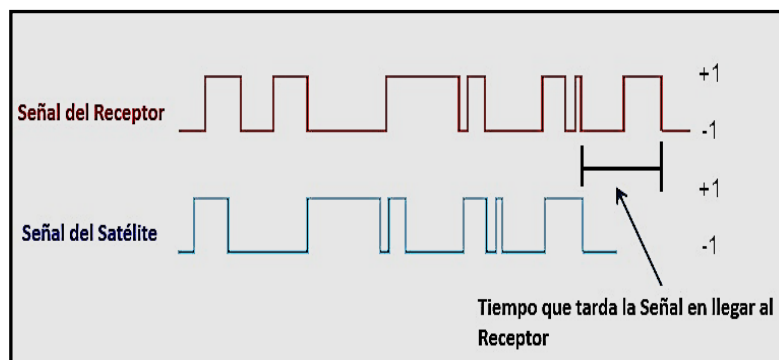


Fig. 10.- Medidas de pseudodistancias con medidas de código. Fuente: autor

La distancia geométrica observada entre un receptor y el satélite se ve afectada por diferentes errores: errores del reloj del satélite y del receptor, errores ionosféricos y errores troposféricos, además de, efectos relativistas, retardos debidos a constantes instrumentales del satélite y el receptor, que son dependientes de la frecuencia, efectos multicamino, también dependientes de la frecuencia, así como, de otros efectos no modelados.

Debido a estos errores, la distancia obtenida a partir de código recibe el nombre de pseudodistancia entre, un receptor (r) y un satélite (s) en un instante (t) y se pueden modelar (Hofmann-et al.,2008, Leick, 2004).

$$R = c \cdot (\Delta t) \quad \text{Ec. 3.2.1}$$

Para obtener la pseudodistancia R a partir de medidas de código entre, el receptor (r) y el satélite (s) en el instante (t), y llamando t^s a la lectura del reloj del satélite, t^r a la lectura del receptor y c a la velocidad de la luz, la diferencia entre las lecturas t^s y t^r nos daría el tiempo de viaje de la señal, sin embargo, estas lecturas tienen adelantos o retardos respecto al sistema de tiempo GPS. Si llamamos, δ^s y δ^r a la diferencia de lectura del reloj del satélite y del reloj del receptor con el tiempo GPS respectivamente, la diferencia de lecturas nos daría el Δt , que sería el desfase de tiempo que tarda la señal en llegar al receptor, correspondiente al proceso de correlación de código en el mismo.

$$\Delta t = t^r - t^s = [t^r (\text{GPS}) + \delta^r] - [t^s (\text{GPS}) + \delta^s] \quad \text{Ec. 3.2.2}$$

Luego la diferencia de tiempos en la escala GPS y la diferencia de errores de los relojes:

$$\Delta t(\text{GPS}) = t^r (\text{GPS}) - t^s (\text{GPS}) \quad \text{Ec. 3.2.3}$$

$$\Delta \delta = \delta^r - \delta^s \quad \text{Ec. 3.2.4}$$

El tiempo real de viaje será:

$$\Delta t = \Delta t(\text{GPS}) + \Delta \delta \quad \text{Ec. 3.2.5}$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2.1 el valor de Δt

$$R = c [\Delta t(\text{GPS}) + \Delta \delta] = c(\Delta t(\text{GPS}) + \Delta \delta) = \rho + c \Delta \delta \quad \text{Ec. 3.2.6}$$

Al atravesar la señal la atmósfera, se producen dos errores diferentes, denominados ionosférico y troposférico respectivamente. Se introducen en la ecuación 3.2.6.

$$R = \rho + c \Delta \lambda + \epsilon_{\text{Ion}} + \epsilon_{\text{Trop}} \quad \text{Ec. 3.2.7}$$

Además de los errores del reloj del satélite y del receptor, están los producidos por el paso de la señal emitida por el satélite a través de la atmósfera. Si tenemos en cuenta retardos instrumentales que son dependientes de la frecuencia, relativistas, multicamino y otros no modelados, la ecuación 3.2.7 quedaría.

$$R = \rho + c \Delta\lambda + \epsilon_{\text{Ion}} + \epsilon_{\text{Trop}} + r + re + m + \zeta \quad \text{Ec. 3.2.8}$$

Esta ecuación puede expresarse para cada satélite (s) desde cada receptor (r), en cada una de las frecuencias L1 y L2, en las que se puede obtener el código C/A y P.

$$R_{rL}^s = \rho_r^s + c \Delta\lambda_r^s + \epsilon_{\text{Ion}} + \epsilon_{\text{Trop}} + r_r^s + re_r^s + m_r^s + \zeta_r^s \quad \text{Ec. 3.2.9}$$

La ecuación Ec. 3.2.9 modeliza, la pseudodistancia obtenida a partir de la observación de código R_r^s en la estación donde se encuentra el receptor (r) al satélite (s).

Donde:

ρ_r^s distancia geométrica.

$\Delta\lambda_r^s$ efecto combinado de los relojes del satélite y receptor.

ϵ_{Ion} error ionosférico.

ϵ_{Trop} error troposférico.

r_r^s efecto relativista.

re_r^s retardos debidos a constantes instrumentales del satélite y receptor.

m_r^s efecto debido al multicamino o multipath.

ζ_r^s errores no modelados.

2.3.3.- MEDIDAS DE FASE

En un tiempo (t), la fase de la señal portadora enviada por el satélite se compara con la fase de la señal generada por nuestro equipo receptor, el receptor registra a intervalos de tiempo iguales, sin tener en cuenta el número completo de ondas entre el receptor y el satélite, ya que, no puede ser contabilizado en el momento inicial en que el receptor comienza a registrar. Por tanto, la medición de fase de la portadora es la medición de fase fraccional.

La pseudodistancia, está relacionada con el número entero de longitud de onda y su fase y se determina a partir de la medida de la fase portadora y no de la medida de tiempo.

La distancia entre satélite y receptor en el instante inicial t_0 está relacionada con el número entero de longitudes de ondas (N) y su fase ($\Delta\phi$) parte fraccional de su longitud de onda, siendo (f) la frecuencia de la onda portadora.

$$D_r^s(t_0) = \frac{c \Delta\phi}{f} + \lambda + N \quad \text{Ec. 3.3.1}$$

Observando la Fig 11, se aprecia que el satélite se desplaza durante un tiempo $(t_1) - (t_0)$, el receptor genera ciclos enteros de longitud de onda para seguir la señal del

satélite, midiendo sólo una parte fraccional de la fase (ϕ_r^s) y el número de ondas correspondientes al desplazamiento del satélite (n_r^s). No es posible determinar el número entero de longitudes ondas inicial entre satélite y receptor (N_r^s), es lo que se denomina ambigüedad de ciclo inicial.

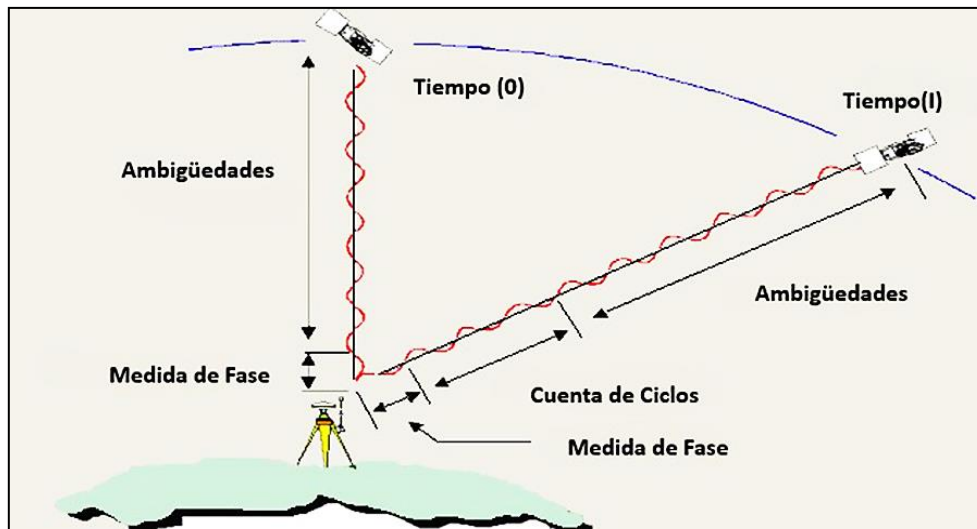


Fig. 11.- Medida de pseudodistancias con medidas de Fase.

Fuente: modificada de <https://slideplayer.es>

La pseudodistancia (ρ_r^s) entre receptor y satélite, realizando medidas de fase, se expresa en ciclos.

$$\rho_r^s \left(\frac{1}{\lambda} \right) = \phi_r^s + (n_r^s) + (N_r^s) \quad \text{Ec. 3.3.2}$$

Podemos generalizar la ecuación de fase observada en el receptor (r) del satélite (s) en el instante (t) como:

$$\phi_r^s(t) = \left(\frac{1}{\lambda} \right) \rho_r^s(t) + f^s(t_s - t_r) + N_r^s + \left(\frac{1}{\lambda} \right) (\epsilon_{\text{trop}}(t) - \epsilon_{\text{ion}}(t)) \quad \text{Ec. 3.3.3}$$

Donde, $\phi_r^s(t)$ representa la fase observada por un único receptor (r) a un satélite (s) en el instante (t), t_s el tiempo del reloj del satélite y t_r el tiempo del reloj del receptor, f^s la frecuencia, N_r^s la ambigüedad de ciclo inicial, ϵ_{ion} y ϵ_{trop} los errores ionosférico y troposférico respectivamente.

La parte fraccional de la portadora puede determinarse con una precisión del 1% de la longitud de onda, lo que corresponde a una precisión milimétrica. Una onda completa de la portadora se denomina ciclo y el número entero de ciclos en la medición de fase, ambigüedad. Se tendrá en cuenta que, el momento inicial de comenzar la medición es desconocido.

La medida de fase sólo será aplicable a las técnicas de medición en relativo o Método Relativo Diferencial, que consiste en utilizar dos receptores, uno fijo situado en un punto de una referencia conocida y otro móvil, del que se determina su posición a partir de la línea base formada entre ambos.

La Ec. 3.3.3 corresponde al observable de fase, de un solo receptor a un satélite, cuando se aumenta el número de satélites y el tiempo de observación desde dos receptores, se aumenta considerablemente el número de ecuaciones del sistema y se reducen sustancialmente diferentes errores; si además se utilizan observables derivados se facilita la resolución de ambigüedades. (Hofmann-et al.,2008).

2.3.4.- FUENTES DE ERROR

Haciendo una clasificación de los errores del sistema se podría diferenciar entre errores inevitables y errores mitigables. Entre los inevitables, están los procedentes de los satélites, de la atmosfera, los errores orbitales y los errores del reloj. Dentro de los errores mitigables están, los que provienen del receptor, multipath o multicamino y de la geometría de los satélites. (Hofmann-et al.,2008, Leick, 2004).

Seeber (2003), clasifica las fuentes de error en dos grupos, errores dependientes de la distancia (orbitales, ionosféricos y troposféricos) y errores dependientes de la estación (variación del centro de fase de la antena y multipath).

2.3.4.1.- Errores Procedentes de los Satélites

Los errores del reloj del satélite, corresponden a la diferencia o desfase con el tiempo GPS, ya que, aunque los satélites llevan relojes atómicos con osciladores de Cs o Rb, ningún reloj es absolutamente perfecto. Estos errores pueden reducirse mediante las correcciones enviadas en el mensaje de navegación. Pero, aunque el receptor aplique estas correcciones para el error del reloj del satélite, sigue permaneciendo un pequeño error residual estimado como máximo en unos 10 nanosegundos.

Otro de los errores procedentes de los satélites son los errores orbitales. El segmento de control envía datos a los satélites a través de la estación principal de control. Las estaciones de seguimiento continuo envían a la estación principal datos de pseudodistancias y datos de fase de los satélites que pasan por su horizonte, con estos datos la estación principal genera sus efemérides, que serán enviadas a través del mensaje de navegación del satélite a los receptores de los usuarios. Las efemérides transmitidas por los satélites tendrán asociado un error, debido a la imposibilidad de predecir exactamente sus posiciones. Estos errores pueden eliminarse si se trabaja con las efemérides precisas de los días de observación.

Utilizando el método diferencial o relativo, se pueden eliminar todos los errores relativos a los satélites, ya que, afectan de igual forma a ambos receptores y siempre que

se trabaje en líneas base cortas, si se trabaja en líneas largas, se puede eliminar el error del reloj, pero no los errores de los parámetros orbitales.

2.3.4.2.- Errores Procedentes del Medio por el que Viaja la Señal

La señal enviada por los satélites en su viaje hacia el receptor sufre un retardo dependiendo de las características del medio por el que se propaga.

Este retardo responde a dos efectos, efectos de refracción que se producen al atravesar la señal un medio que presenta distintas propiedades o características, con independencia de la dirección en que se midan y a efectos de relatividad producidos al propagarse la señal entre dos puntos de diferentes gravedades y velocidades relativas.

La ionosfera es una zona que produce retardo debido a la cantidad de electrones libres que las señales L1 y L2 encuentran en su camino teniendo en cuenta que el retardo es proporcional al número de electrones libres. Su altura se limita a los 400 km, por ser la zona con mayor concentración de éstos. En posicionamiento absoluto al realizar la medida de distancias se produce un error que varía en función de la posición en que se encuentren los satélites sobre el receptor (cenit o cerca del horizonte), también varía según la inclinación con que entren en la ionosfera. Una de las formas de eliminar este error es utilizar receptores de doble frecuencia. Al utilizar dos frecuencias obtenemos un error diferente para cada frecuencia y podemos determinar un retardo diferencial entre ambas. La dependencia de la frecuencia con respecto al efecto ionosférico se plasma en la siguiente expresión (Klobuchar 1983, Brunner y Welch, 1993)

$$\epsilon_{\text{ion}} = \frac{40.3}{c f^2} \text{TEC} \quad \text{Ec. 3.4.2.1}$$

Donde:

ϵ_{ion} Retardo ionosférico.

c Velocidad de la luz m/seg

f Frecuencia de la señal en Hz

TEC Cantidad de electrones libres por m³

La troposfera, es la zona donde se manifiestan los fenómenos climáticos. También se produce en ella un retardo en el viaje de las ondas, lo que genera errores en la determinación de distancias. Tampoco podemos evitar su efecto en el posicionamiento absoluto, cometiéndose un error del orden de 2 - 20 m. en la determinación de la misma, error que depende de la ubicación del satélite, es decir, del ángulo de incidencia de la señal sobre la troposfera. En medidas de fase, aplicando el método diferencial, observando satélites desde dos o más receptores y realizando el posterior procesado, podrían utilizarse también modelos Troposféricos.

2.3.4.3.- Errores que Proviene del Receptor

El efecto “multipath o multicamino” es causado principalmente por las múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite, en superficies cercanas al receptor. Este efecto puede reducirse considerablemente, utilizando antenas con plano de tierra, haciendo un uso correcto de la tecnología GPS, eligiendo puntos de estación donde no existan edificios, árboles o cualquier otro obstáculo. Este error obliga a limitar la altura de los satélites sobre el horizonte, configurando lo que se denomina “máscara de elevación”, la más usual es de 15° . Se consigue eliminar aquellos satélites cuya altura se encuentre por debajo de esta máscara.

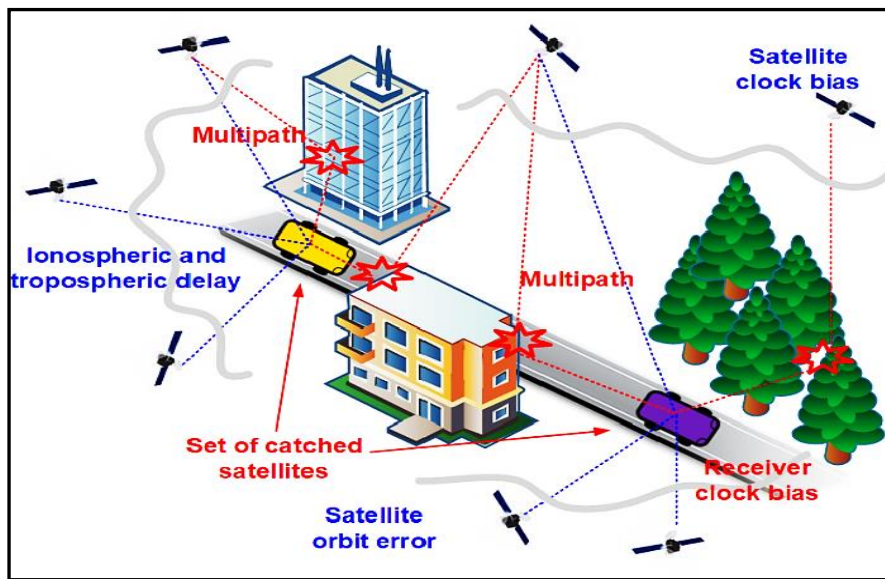


Fig. 12.- Error Multicamino o Multipath: Fuente <https://drotek.com>

La configuración geométrica de los satélites es un aspecto a tener en cuenta a la hora de conseguir resultados de alta precisión en el posicionamiento. Sin embargo, esta geometría cambia como consecuencia del movimiento de los satélites en sus órbitas. La precisión en las coordenadas depende de la geometría de los satélites, está en función de dos factores.

El primero, denominado UERE (User Equivalety Range Error) es un factor proporcional al error total en la medida de la pseudodistancia y puede expresarse por la desviación estándar.

El segundo factor, mide la buena configuración geométrica de los satélites con el receptor y se denomina Factor de Dilución de la Precisión (DOP, Dilution of Precision) y puede interpretarse como la fuerza de la figura de la geometría de la constelación visible, aunque se aceptan para él valores entre 6 y 8 en función de las precisiones requeridas, su valor ideal sería la unidad.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

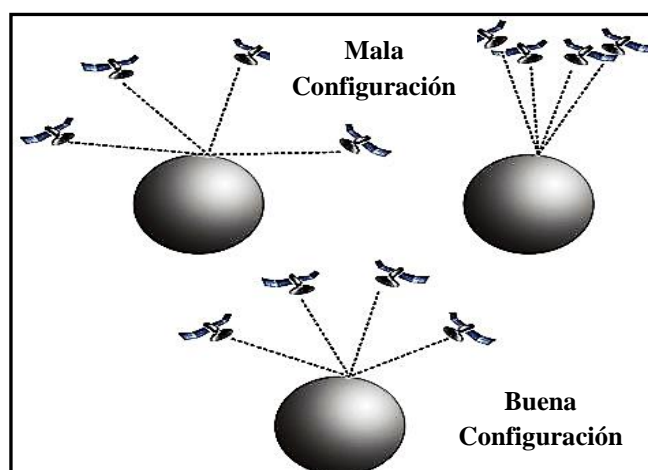


Fig. 13.- Geometría de la constelación. Fuente: autor

Los valores de DOP más utilizados son los siguientes:

GDOP: Dilución de precisión en posición y estado del reloj.

PDOP: Dilución de precisión en posición.

TDOP: Dilución de precisión en el estado del reloj.

HDOP: Dilución de precisión en planimetría.

Este error puede mitigarse, ya que, los equipos tienen la posibilidad de conocer el valor de PDOP antes de realizar la observación, por lo que, se pueden realizar las mediciones en los intervalos donde el valor de PDOP tenga los valores más bajos.

La Variación del Centro de Fase de la Antena es otro error asociado al receptor. El centro radioeléctrico de la antena no coincide con el centro físico del aparato, por ello, los fabricantes de receptores, para realizar la medición, especifican una posición adecuada de la antena (ARP, *Antenna Reference Point*) además de corregir la diferencia entre el centro radioeléctrico y el centro físico, efecto que se conoce como APCA (*Antenna Phase Center Ambiguity*). La no calibración puede producir errores, que van de algunos mm. a varios cm., por lo que, en mediciones donde se exija máxima precisión, deben emplearse siempre antenas calibradas. Actualmente, existen diferentes métodos de calibración de antenas, los métodos absolutos y los relativos.

Tabla 1.- Fuentes de error. Fuente: autor

Fuentes de Error	Error Típico	Corrección
Órbita de Satélites	20 m	Diferencial
Reloj de Satélites	10 m	Diferencial
Retardo Ionosférico	50 m	Diferencial + Doble Frecuencia
Retardo Troposférico	2,3 m	Modelos + Diferencial
Multipath	10 m	Situación Antena
Reloj Receptor	10 m	Post-Proceso
Ruido	mm Portadora	Código

2.3.5. COMBINACIONES LINEALES DE OBSERVABLES

Si se realizan observaciones simultaneas en un tiempo (t) desde dos receptores (r₁) y (r₂) a un satélite (s₀) a esta observación se la conoce como Simple Diferencia. Si observamos dos satélites (s₀) y (s₁), la observación se denomina Doble Diferencia y si finalmente la observación se hace desde dos receptores a dos satélites en posiciones diferentes y observando en épocas distintas, la observación recibe el nombre de Triples Diferencias. Estas combinaciones de observables nos permiten reducir y eliminar determinados errores que son provocados por diferentes fuentes. (Hofmann, et al.,2001)

2.3.5.1.- Simples Diferencias

Observamos en el tiempo (t) el satélite (s₀) desde los receptores (r₁) y (r₂).

$$\phi_{r1}^{s0}(t) = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \rho_{r1}^{s0}(t) + f^{s0}(t_{s0}(t) - t_{r1}(t)) + N_{r1}^{s0} + \left(\frac{1}{\lambda}\right) (\epsilon_{trop r1}(t) - \epsilon_{ion r1}(t)) \quad \text{Ec. 3.5.1.1}$$

$$\phi_{r2}^{s0}(t) = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \rho_{r2}^{s0}(t) + f^{s0}(t_{s0}(t) - t_{r2}(t)) + N_{r2}^{s0} + \left(\frac{1}{\lambda}\right) (\epsilon_{trop r2}(t) - \epsilon_{ion r2}(t)) \quad \text{Ec. 3.5.1.2}$$

$$\phi_{r1}^{s0}(t) - \phi_{r2}^{s0}(t) = \left(\frac{1}{\lambda}\right) (\rho_{r1}^{s0}(t) - \rho_{r2}^{s0}(t) - f^{s0}(t_{r1}(t) - t_{r2}(t)) + (N_{r1}^{s0} - N_{r2}^{s0}) - \left(\frac{1}{\lambda}\right) [(\epsilon_{ion r1}(t) - \epsilon_{ion r2}(t))] \quad \text{Ec. 3.5.1.3}$$

Al aplicar simples diferencias se elimina el error que corresponde al oscilador del satélite, pero se desconoce el error del reloj del receptor y no se resuelven las ambigüedades.

2.3.5.2.- Dobles Diferencias

Se observan los satélites (s₀) y (s₁) desde los receptores (r₁) y (r₂) en el tiempo (t).

En primer lugar, se obtienen las Simples Diferencias.

$$\phi_{r1 r2}^{s0}(t) = \left(\frac{1}{\lambda^{s0}}\right) \rho_{r1 r2}^{s0}(t) - f^{s0} t_{r1 r2}(t) + N_{r1 r2}^{s0} - \left(\frac{1}{\lambda^{s0}}\right) \epsilon_{ion r1 r2}^{s0} + \left(\frac{1}{\lambda^{s0}}\right) \epsilon_{trop r1 r2}^{s0} \quad \text{Ec. 3.5.2.1}$$

$$\phi_{r1 r2}^{s1}(t) = \left(\frac{1}{\lambda^{s1}}\right) \rho_{r1 r2}^{s1}(t) - f^{s1} t_{r1 r2}(t) + N_{r1 r2}^{s1} - \left(\frac{1}{\lambda^{s1}}\right) \epsilon_{ion r1 r2}^{s1} + \left(\frac{1}{\lambda^{s1}}\right) \epsilon_{trop r1 r2}^{s1} \quad \text{Ec. 3.5.2.2}$$

$$\phi_{r1 r2}^{s0}(t) = \phi_{r1}^{s0}(t) - \phi_{r2}^{s0}(t) \quad \text{Ec. 3.5.2.3}$$

$$\phi_{r1 r2}^{s1}(t) = \phi_{r1}^{s1}(t) - \phi_{r2}^{s1}(t) \quad \text{Ec. 3.5.2.4}$$

Si se restan estas ecuaciones se obtendrá la ecuación de Dobles Diferencias:

$$\phi_{r1,r2}^{s0,s1}(t) = \phi_{r1 r2}^{s0}(t) - \phi_{r1 r2}^{s1}(t) \quad \text{Ec. 3.5.2.5}$$

$$\phi_{r1,r2}^{s0,s1}(t) = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \rho_{r1,r2}^{s0,s1}(t) + N_{r1,r2}^{s0,s1} - \left(\frac{1}{\lambda}\right) \varepsilon_{ionr1\ r2}^{s0\ s1} + \left(\frac{1}{\lambda}\right) \varepsilon_{trop\ r1,r2}^{s0,s1} \quad \text{Ec. 3.5.2.6}$$

El valor del error del reloj del receptor es el mismo para las observaciones a los satélites (s_0) y (s_1), por ello, si aplicamos dobles diferencias de fase se eliminan los errores del reloj del satélite y de los receptores, aunque sigue existiendo la ambigüedad de ciclo inicial.

2.3.5.3.- Triples Diferencias

La observación desde dos receptores a dos satélites, en dos posiciones distintas y observando en épocas diferentes, recibe el nombre de Triples Diferencias. Se trata de un enfoque alternativo de modelado y procesamiento de datos de observación, para operaciones estáticas. Se realizan en un tiempo breve de observación, para la obtención de datos con precisión de cm y en el control de pérdidas de ciclo (Remondi 1984).

Se parte de las ecuaciones de Dobles Diferencias entre los receptores (r_1) y (r_2) observando a los satélites (s_0) y (s_1) en los tiempos (t_1) y (t_2).

$$\begin{aligned} \phi_{r1,r2}^{s0,s1}(t_1) = & \left(\frac{1}{\lambda}\right) \rho_{r1,r2}^{s0,s1}(t_1) + N_{r1,r2}^{s0,s1} - \left(\frac{1}{\lambda}\right) \varepsilon_{ionr1\ r2}^{s0\ s1}(t_1) \\ & + \left(\frac{1}{\lambda}\right) \varepsilon_{trop\ r1,r2}^{s0,s1}(t_1) \end{aligned} \quad \text{Ec. 3.5.3.1}$$

$$\phi_{r1,r2}^{s0,s1}(t_2) = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \rho_{r1,r2}^{s0,s1}(t_2) + N_{r1,r2}^{s0,s1} - \left(\frac{1}{\lambda}\right) \varepsilon_{ionr1\ r2}^{s0\ s1}(t_2) + \left(\frac{1}{\lambda}\right) \varepsilon_{trop\ r1,r2}^{s0,s1}(t_2) \quad \text{Ec. 3.5.3.2}$$

Con la diferencia de ambas obtenemos la ecuación de Triples Diferencias.

$$\begin{aligned} \phi_{r1,r2}^{s0,s1}(t_2) - \phi_{r1,r2}^{s0,s1}(t_1) = & \left(\frac{1}{\lambda}\right) [\rho_{r1,r2}^{s0,s1}(t_2) - \rho_{r1,r2}^{s0,s1}(t_1)] - \left(\frac{1}{\lambda}\right) [\varepsilon_{ionr1\ r2}^{s0\ s1}(t_2) - \varepsilon_{ionr1\ r2}^{s0\ s1}(t_1)] + \\ & \left(\frac{1}{\lambda}\right) [\varepsilon_{trop\ r1,r2}^{s0,s1}(t_2) - \varepsilon_{trop\ r1,r2}^{s0,s1}(t_1)] \end{aligned} \quad \text{Ec. 3.5.3.3}$$

Como podemos observar en la ecuación Ec.3.5.3.3 de triples diferencias, se eliminan las ambigüedades de ciclo inicial y si los receptores están próximos y las épocas son muy seguidas se pueden eliminar los errores debidos a la troposfera y a la ionosfera, además no se verá afectado por la pérdida de ciclos que se puede producir en cualquier receptor GPS, debido a una baja relación señal-ruido

2.4.- MÉTODOS GPS

(Hofmann-Wellenhof, et al 2001). Los métodos empleados para la obtención de coordenadas mediante técnicas GPS, dependen fundamentalmente del receptor y el software utilizado y pueden clasificarse en función de diferentes parámetros.

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

Una primera clasificación podría hacerse en función de los observables, que responden a dos tipos: códigos y fases portadoras. Si los observables son códigos el método se denomina Diferencial (DGNSS) y si es medida de fase se denomina Preciso Diferencial (PDGNSS) ambos en tiempo real.

Otra clasificación, se basaría en la forma de obtener las coordenadas, bien en posicionamiento absoluto o de navegación autónoma o en posicionamiento diferencial o relativo.

En el posicionamiento absoluto, utilizando observables de código, se mide la distancia entre los centros radioeléctricos del emisor y receptor, las distancias se determinan por métodos de trilateración y las coordenadas se fijan con respecto al sistema de referencia de la constelación, el denominado WGS84.

En el posicionamiento relativo, necesitamos dos receptores, uno situado en una referencia de posición conocida y otro de posición desconocida al que se denomina receptor móvil. La posición del receptor móvil se determina hallando el vector que une el punto de referencia con la posición del móvil en una observación simultánea. A este método se le denomina, Posicionamiento Diferencial en Post-proceso, si los resultados se obtienen después de la observación o Posicionamiento Diferencial en Tiempo Real si se obtienen en el mismo instante.

Una tercera clasificación, basada en las técnicas de medición empleadas, que pueden ser estáticas y dinámicas.

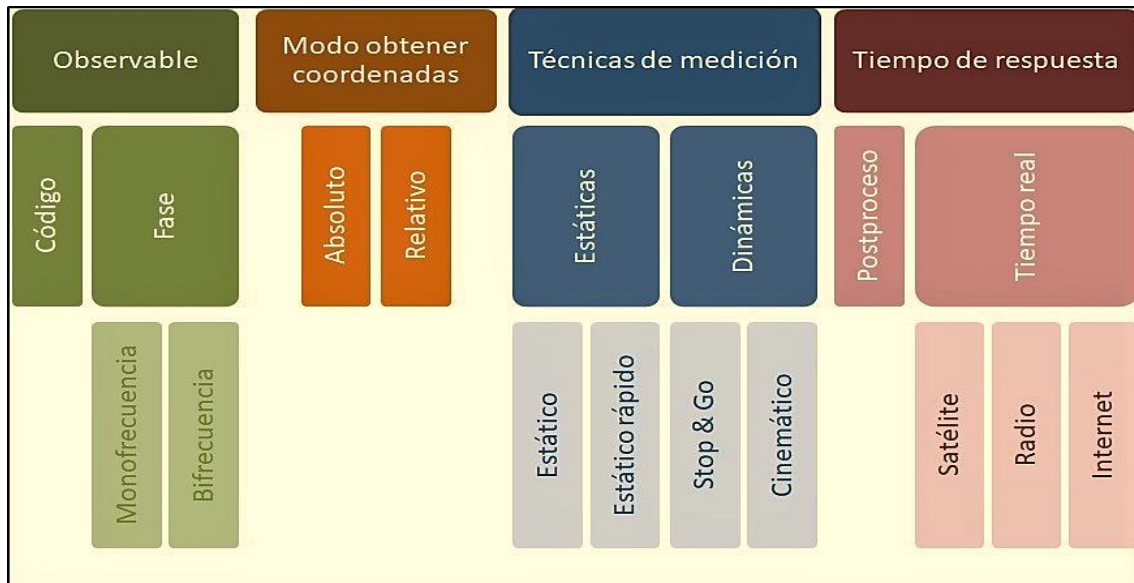
En las técnicas estáticas, el receptor móvil se estaciona en un punto fijo. En función de la distancia entre receptores podemos hablar de método estático y estático rápido. El estático, se utiliza para distancias largas entre receptores, superiores a 20 km y necesita un tiempo largo de observación para obtener la precisión requerida. El estático rápido, es similar al anterior y se emplea para distancias entre receptores por debajo de los 20 km.

En las técnicas dinámicas, el receptor móvil está en movimiento. Cuando el receptor móvil toma datos en movimiento en intervalos de tiempo preestablecidos, hablamos de método Cinemático y si es el usuario quien decide los puntos de interés que quiere tomar, el método se denomina Stop & a Go.

Se realiza una cuarta clasificación, en relación al tiempo de respuesta. Hablamos de Pos-proceso, cuando el resultado de las observaciones se obtiene en gabinete después de procesar los datos de observación del receptor fijo y móvil y hablamos de, en Tiempo Real, cuando las coordenadas de los puntos de interés se obtienen en el mismo instante, quedando directamente almacenadas en nuestra controladora.

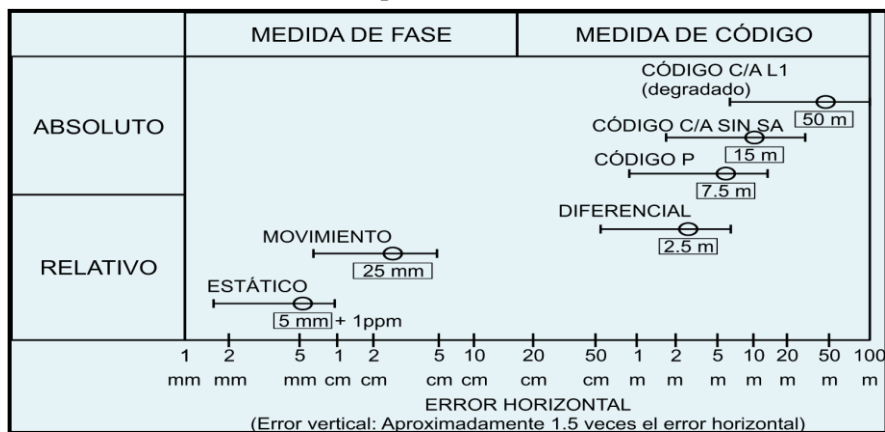
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Tabla 2.- Resumen de la clasificación de los métodos GPS. Fuente: autor



Si se utiliza un solo receptor en posicionamiento absoluto, se puede determinar la posición con precisión de cm., siempre con un largo periodo de observación, pero se obtiene menor precisión que con posicionamiento relativo, debido fundamentalmente a que los errores que intervienen en el proceso de medición, no pueden eliminarse utilizando posicionamiento absoluto. En la tabla 3 se puede observar la exactitud del Sistema GPS, según se utilicen medidas de código o fase o se apliquen métodos absolutos o relativos.

Tabla 3.- Exactitud a priori del sistema GPS. Fuente: autor



2.4.1.- MÉTODO ABSOLUTO

En modo absoluto, utilizamos un recetor GPS y empleando observables de código, la distancia entre emisor y receptor se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$R_{rL}^s = \rho_r^s + c \Delta \lambda_r^s + \epsilon_{Ion} + \epsilon_{Trop} + r_r^s + re_r^s + m_r^s + \zeta_r^s \quad \text{Ec. 3.2.9}$$

$$\rho_r^s = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} \quad \text{Ec. 4.1.1}$$

Donde:

ρ_r^s = Distancia Geométrica entre receptor y satélite.

X_s, Y_s, Z_s = Coordenadas enviadas por el satélite en su mensaje de navegación para una determinada época.

X_r, Y_r, Z_r = Coordenadas del punto estación.

Si sustituimos la distancia geométrica en la Ec.3.2.9.

$$R_{rL}^s = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2} + c \Delta \lambda_r^s + \epsilon_{\text{Ion}} + \epsilon_{\text{Trop}} + r_r^s + r_e^s + m_r^s + \zeta_r^s$$

Ec. 4.1.2.

Quedaría una ecuación con cuatro incógnitas, ya que los errores ionosféricos y troposféricos se pueden calcular mediante modelos y los demás errores también pueden determinarse.

Para calcular la pseudodistancia es necesario la observación de al menos cuatro satélites simultáneamente, estableciendo así, un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas.

La determinación de coordenadas utilizando posicionamiento absoluto con observación de código C/A o P, se pueden determinar con diferentes precisiones dependiendo del receptor y código utilizados; obtenemos precisiones de decenas de m. si utilizamos medidas de código C/A y menores de 10 m. si utilizamos el código P. Sus principales aplicaciones se desarrollan en el ámbito de la navegación.

2.4.2. MÉTODO DIFERENCIAL O RELATIVO

Cuando se cuenta con dos receptores, uno de ellos se estaciona en un punto de referencia de coordenadas conocidas y el otro denominado móvil, se sitúa en punto desconocido. Las coordenadas del equipo móvil, se obtienen determinando el vector que une el receptor de referencia con el móvil. El objetivo es eliminar los errores propios del sistema GPS y determinar el incremento de coordenadas, desde la estación de referencia a la estación donde se encuentra el móvil. (Kee et al,1991 y Ashkenazi et al, 1993)

Según Seeber (2003), las fuentes de error pueden agruparse en tres categorías diferentes. La primera, corresponde a aquellos errores decorrelados con la distancia, principalmente errores de efemérides y retardo atmosférico, estos errores pueden considerarse iguales, en ambas estaciones si éstas están cercanas. La segunda categoría se corresponde con los errores decorrelados con el tiempo y se solucionan sincronizando

las observaciones en las dos estaciones. La tercera categoría agrupa los errores que afectan a las dos estaciones por igual y necesitan de una calibración.

La distancia entre los dos receptores, es un aspecto a considerar en la determinación de las coordenadas del móvil. A menor distancia, se obtendrá mayor exactitud en la medida, será menor el tiempo necesario para realizarla, mayor la posibilidad de observar los mismos satélites y las condiciones atmosféricas pueden considerarse iguales en ambos receptores.

Para minimizar los errores decorrelados con la distancia, se determina la diferencia de coordenadas, respecto a una estación de referencia conocida, para lo que se siguen diferentes estrategias: utilizar los datos de observación de una o varias referencias y los datos de observación del móvil, correspondientes al intervalo de tiempo común (Posicionamiento Relativo con Post-Proceso), utilizar correcciones en tiempo real, mediante observaciones de código en la estación de referencia (DGNSS-Diferencial GNSS), utilizar en tiempo real correcciones de código y fase desde la referencia (PDGNSS-Preciso Diferencial GNSS), también conocido como (SRS-Simple Referencia Estación) o utilizar los servicios de correcciones diferenciales en tiempo real de una red de estaciones permanentes (Red RTK o MRS-Múltiples Referencias Estación).

Según las estrategias mencionadas, la solución final puede obtenerse en Post-proceso, donde la posición exacta se alcanza una vez finalizados los trabajos de campo o en Tiempo Real, que nos permite determinar la posición al instante. La posición determinada en Post-proceso es más exacta que la determinada en Tiempo Real, donde se pierde algo de exactitud, sin embargo, trabajando en Post-proceso el tiempo de observación es considerado medio, mientras que en Tiempo Real es mucho menor.

Las principales aplicaciones, en Post-proceso son: apoyo topográfico, vuelos fotogramétricos, observación de redes, levantamientos topográficos, deslindes etc. y en Tiempo Real son: levantamientos topográficos, deslindes, replanteos, navegación e inventarios.

2.4.3.- TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Estas técnicas, pueden ser estáticas o dinámicas, dividiéndose las primeras a su vez en estático y estático rápido y las segundas en cinemáticas y stop & a Go.

2.4.3.1.- Técnicas Estáticas

En el "posicionamiento estático" se determina un solo trío de coordenadas, el tiempo de observación se establece en función de la precisión requerida y se obtienen tantas soluciones como se desee, con solo prolongar el tiempo de observación. Las soluciones pueden alcanzar una alta precisión, si se realiza el Post- proceso con una o varias referencias conocidas, durante el mismo intervalo de observación.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

La distancia de las líneas base pueden ser largas, llegando a superar los 20 km, el tiempo de observación elevado y los resultados en Post-proceso, muy precisos, por lo que, se considera una técnica idónea para la densificación de redes, estudio de deformaciones y todas aquellas aplicaciones que requieran de alta precisión. Este método de trabajo es más preciso y económico que los métodos utilizados por la topografía clásica.

“El posicionamiento estático rápido” es muy similar al estático, pero aplicable a líneas base menores de 20 km, los tiempos de observación son más cortos y se obtiene buena precisión en el cálculo de las líneas base. Los resultados también se obtienen en Post-proceso y se aplica en la densificación de redes, obtención de puntos apoyo, puntos de control y cualquier trabajo topográfico y/o cartográfico que requiera obtener un elevado número de puntos de forma rápida.

La tabla 4, indica el tiempo de observación recomendado para obtener precisión de 1 cm en líneas base de diferente longitud, en función del número de satélites observados y del tipo de receptor utilizado, monofrecuencia o bifrecuencia. El tiempo vendrá expresado en minutos.

Tabla 4.- Tiempo de observación recomendado en planimetría. Exactitud en línea base 1 cm.

Fuente: modificada de *US - Army Coprs Engineers*

	Número de Satélites					
	4		5		6	
Longitud	Mono	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi
1 - 10 Km	60	20	36	12	24	8
10 - 20 Km	75	25	45	15	30	10
20 - 50 Km	105	35	75	25	60	20
> 50 Km	180	60	135	45	90	30

Tabla 5.- Tiempos de observación para altimetría, exactitud en línea base 1 cm.

Fuente: modificada de *USArmy Coprs Engineers*

Longitud	Tiempo	Épocas
< 10 Km	30 min	5 segundos
10 - 20 Km	60 min	10 segundos
20 - 40 Km	120 min	15 segundos
40 - 60 Km	240 min	15 segundos

2.4.3.2.- Técnicas Dinámicas

En las “técnicas dinámicas” se estaciona un receptor en la referencia de coordenadas conocidas y el receptor móvil, realiza la toma de datos en movimiento. El levantamiento puede realizarse de dos formas diferentes.

2.4.3.2.1.- Levantamiento Cinemático

En el “levantamiento cinemático” se estaciona uno de los receptores en la referencia de coordenadas conocidas y el receptor móvil irá registrando puntos a un intervalo de tiempo preestablecido, los datos registrados varían en función de la velocidad a la que se desplace el móvil y del tiempo establecido. Las precisiones, oscilan entre 1 y 2 cm \pm 1ppm, se debe mantener contacto al mínimo con cuatro satélites y los resultados se realizan en postproceso. Algunas de las aplicaciones de esta técnica de trabajo son: levantamiento de carreteras, definición de trayectorias, batimetrías etc.

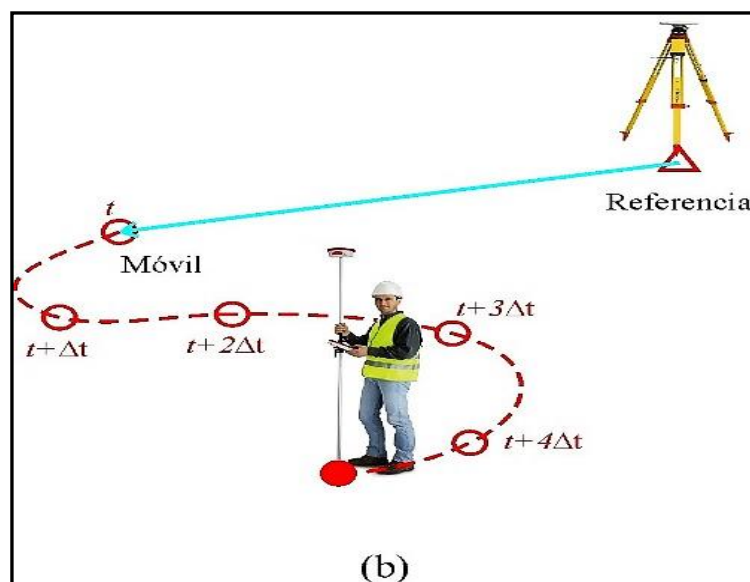


Fig. 14.- Levantamiento cinemático. Fuente: autor

2.4.3.2.2.- Levantamiento Stop & a Go

En el “levantamiento Stop & a Go” se estaciona un equipo en la referencia de coordenadas conocidas y el rover o equipo móvil lo desplaza el propio operador hacia los puntos de interés, donde, toma dos o tres épocas, continuando hasta el siguiente punto.

Las precisiones obtenidas son similares a las del levantamiento cinemático, se debe tener contacto con cuatro satélites como mínimo, los resultados se obtienen en postproceso. Algunas de sus aplicaciones son: levantamientos taquimétricos, deslindes y modelos digitales del terreno.

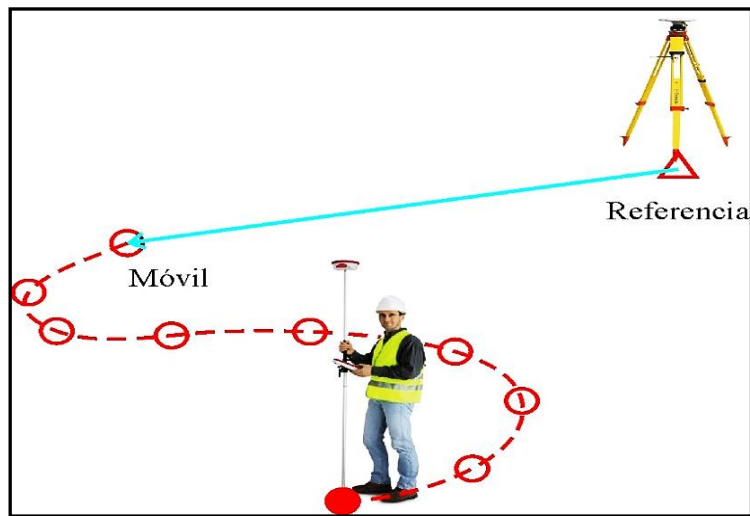


Fig. 15.- Levantamiento Stop & a Go. Fuente: autor

2.4.3.2.3.- Levantamiento en Tiempo Real

En el “levantamiento cinemático en tiempo real” o técnicas RTK (*Real Time Kinematic*) (Benjamin Remondi, 1985), el objetivo que se persigue es, conocer la posición de forma exacta y al instante. Para ello, es necesario disponer de un receptor GPS, que se estaciona en una referencia de coordenadas conocidas o receptor que pertenezca a una red de estaciones de referencia de funcionamiento continuo (CORS) y un receptor móvil que va tomando puntos de interés, además de, un enlace de datos para enviar mensajes de corrección desde el receptor de referencia al equipo móvil. Este enlace puede ser: radio, satélite, teléfono, internet o de cualquier otra tecnología de comunicación.

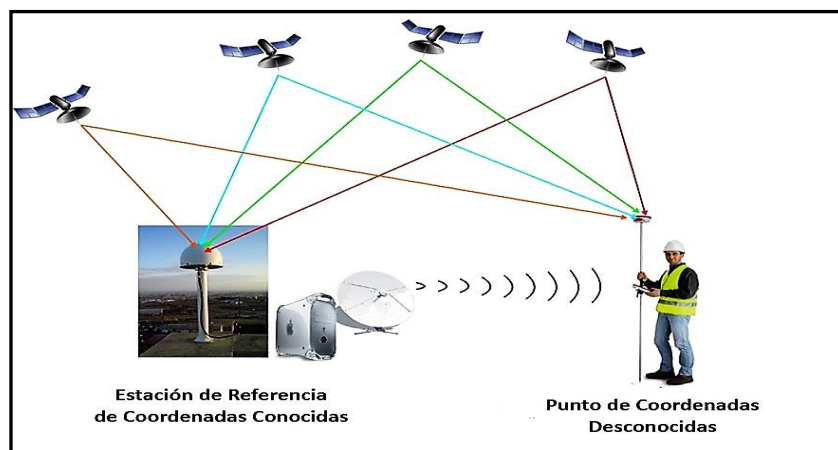


Fig. 16.- Levantamiento en tiempo real. RTK. Fuente: autor

El receptor fijo situado en la referencia recibe información de los satélites, puede determinar el vector diferencia entre la referencia y la posición marcada por la constelación en una época determinada, es decir, conoce la corrección a realizar enviando esta información al equipo móvil a través del enlace de datos. El receptor móvil recibe la

información de la referencia y la de todos los satélites en su horizonte y determina la posición a partir de información de las dos fuentes.

Los tipos de posicionamiento en tiempo real, dependerán de las correcciones que se utilicen: correcciones mediante observaciones de código en la estación de referencia (DGNSS-Diferencial GNSS), con precisiones entre 0.5 a 1m, correcciones de código y fase desde la referencia (PDGNSS-Preciso Diferencial GNSS), también conocido como, (SRS- Simple Referencia Estación) o correcciones diferenciales en tiempo real desde una red de estaciones permanentes (RTK o MRS-Múltiples Referencias Estación), obteniendo en este caso precisiones de centímetros.

Para conseguir calidad y precisión utilizando el método cinemático en tiempo real, RTK convencional, es necesario disponer de dos receptores, además de, un enlace de datos efectivo necesario para poder realizar la RTK.

El receptor de referencia, puede ir equipado de un radiomodem, con potencia suficiente para realizar su misión, normalmente suele funcionar entre 0,5 y 1w, la antena debe estar calibrada a la frecuencia de trabajo y tener la mayor ganancia posible, de esta forma se consigue mayor alcance, por tanto, mayor área de cobertura. También, hay que tener en consideración la situación de la estación del receptor de referencia y cumpliendo con el buen uso del sistema, situarla en zonas despejadas, sin obstáculos, y sin radiotransmisores potentes en las proximidades. Otro aspecto importante es, la elevación de la estación de referencia que debe situarse lo más alta posible, para dominar el área de trabajo consiguiendo de esta forma el máximo alcance del radioenlace, que estaría en torno a los 10 km.

Otro sistema de enlace de datos que se puede utilizar es, la telefonía móvil GSM; se sustituye el radiomodem por un teléfono móvil, siempre que el receptor tenga la posibilidad de instalar este sistema, nos suministrará la cobertura con la referencia, siempre que en la zona exista la cobertura ofrecida por el operador de telefonía.

El receptor móvil, también debe disponer del radiomodem, para recibir la información enviada por la referencia y procesarla junto con, los datos de su posición dada por los satélites en su horizonte, para obtener precisión. Para un funcionamiento de alto rendimiento, el radiomodem del receptor móvil deberá tener la máxima capacidad de recepción y la antena, deberá estar calibrada para poder conseguir la máxima la distancia entre la referencia y el móvil.

Otros aspectos a tener en cuenta en el receptor móvil, son la actualización de la posición y la latencia. La actualización, se corresponde con el número de posiciones por segundo que calcula el receptor; para el cálculo de la posición se necesita un tiempo que se traduce en un retardo, al que se denomina latencia. Este retardo, depende de la tecnología utilizada por el receptor RTK, los primeros receptores tenían una latencia entre

2 o 3 segundos y actualizaciones de 1 segundo y los actuales, con una latencia de 0.05 segundos pueden llegar a tener actualización de la posición cada 0.1 segundos.

2.5.- OTROS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS)

En este punto, se describen las principales características de otros sistemas de navegación, como la constelación GLONASS totalmente operativa, así como, los sistemas de navegación en proceso de desarrollo, como la iniciativa europea GALILEO, Constelación de Satélites BEIDOU, NAVIC Sistema de Navegación de la India y QZSS Sistema de Navegación por Satélite GNSS regional, propiedad del Gobierno de Japón.

2.5.1.- GLONASS

En 1980, la antigua Unión Soviética desarrolló el sistema ruso GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) y en 1993 el Gobierno Ruso colocó oficialmente el programa GLONASS en manos de las Fuerzas Espaciales Militares Rusas (RSF). Las pruebas de vuelo del Sistema Ruso de Navegación por Satélite de Órbita Alta GLONASS, se iniciaron en octubre de 1982 con el lanzamiento del satélite "Kosmos-1413" y se declaró formalmente operativo en 1993, ya en 1995 se llegó a una constelación completamente operativa con 24 satélites de primera generación. La reducción de los fondos para la industria espacial, condujo en 1990 a la degradación de la constelación y en 2002, quedó constituida sólo por 7 satélites, pero que eran insuficientes para el apoyo de navegación del territorio ruso, incluso con disponibilidad limitada. GLONASS era inferior al GPS, en cuanto a, características de precisión y vida útil activa que estaba comprendida entre 3 y 4 años.

La situación mejoró cuando, el Programa Federal "Sistema de Navegación Global para 2002-2011" fue adoptado y lanzado en 2002. Se logró preservar, modernizar y comenzar a funcionar con satélites "GLONASS-K". Se modernizó, el segmento de control terrestre que junto con la constelación orbital garantizaba las características de precisión, a un nivel acorde con los del GPS, el Estándar Estatal de instalaciones de tiempo y frecuencia y las facilidades de definición de parámetros de rotación de la Tierra. Se diseñaron prototipos de aumento GNSS, gran cantidad de patrones de módulos centrales de recepción y medición y equipos PNT para uso civil y espacial.

En 2012, se lanzó un nuevo Programa Federal "Mantenimiento, Desarrollo y Uso de GLONASS para 2012-2020". Con este programa, se pretende que GLONASS disponga de prestaciones garantizadas a un nivel competitivo, la mejora de la capacidad para lograr la paridad con los sistemas internacionales de navegación por satélite y el liderazgo de la Federación de Rusia en la navegación por satélite. Este sistema de navegación, se utiliza en el territorio de la Federación Rusa y a nivel global.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

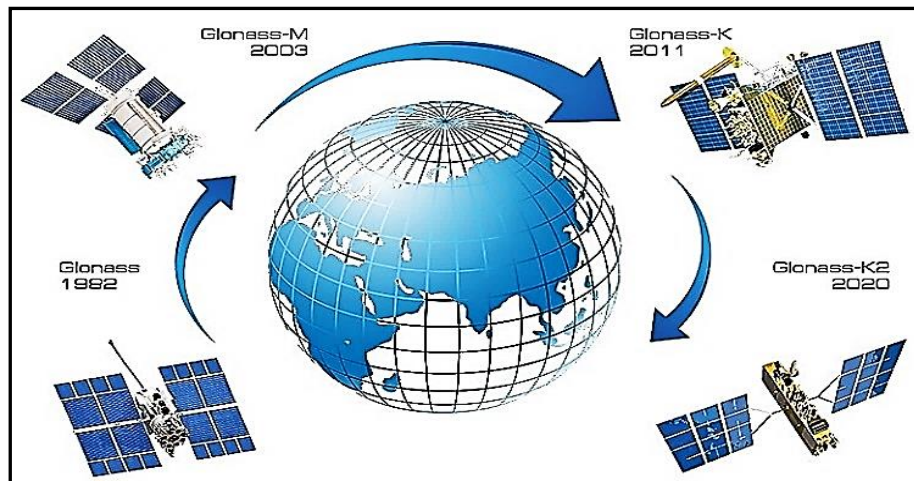


Fig. 17.- Sistema de navegación por satélite Glonass.

Fuente: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php>

Las principales características de la Constelación GLONASS son la siguientes:

- En relación, al tiempo de puesta en funcionamiento, Glonass (1982-1985) ya ha sido desmantelado, Glonass-M (2003-2016) se encuentra actualmente en uso, Glonass-K (2011-2018) está en proceso de perfeccionamiento del diseño basado en la validación en órbita y Glonass-K2 estará en desarrollo a partir de 2017.

- Las órbitas que describen son circulares con una inclinación sobre el plano del ecuador de 64.8° , una altitud de 19100 km y un tiempo de 11 h 15' 44'' para cubrir la órbita. Un total de 24 satélites para cubrir la navegación, dispuestos en tres planos orbitales con ocho satélites en cada plano.

- La estabilidad del reloj según especificación/observada, ha pasado de 5×10^{-13} / 1×10^{-13} en satélites Glonass (1982-1985) a 1×10^{-13} / 5×10^{-14} en satélites Glonass-M y Glonass-K y en Glonass-K2 que se encuentran en proceso de desarrollo 1×10^{-14} / 5×10^{-15}

- Las señales de acceso abierto Glonass (1982-1985) son L1OF (1602MHz) en satélites Glonass-M, L1OF (1602MHz), L2OF (1246MHz) y L3OC (1202 MHz) para SVs 755+ y Glonass-K, las señales y frecuencias anteriores junto con la señal L2OC (1248 MHz) para SVs 17L+ y las mismas señales de Glonass K más la señal L3OC (1202 MHz) para Glonass-K2.

- El estado de la constelación a 28.08.2018 según el análisis de almanaque y los mensajes de navegación recibidos a las 15:00h (UTC) en IAC PNT TsNIImash son:

Número total de satélites de la constelación 26, de los cuales 23 se encuentran operacionales, 1 en fase de puesta en marcha, 1 en mantenimiento y otro en fase de pruebas de vuelo. (2005-2018 © Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing, Korolyov, Russia). <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>

2.5.2.- GALILEO

GALILEO, es la iniciativa europea para desarrollar un sistema de navegación por satélite, está dirigido por la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea, comenzó en 1999, con una puesta en marcha inicial, prevista para 2005 y una plena capacidad operativa en 2008. Los GIOVE, estaban destinados a probar tecnologías de sistemas de posicionamiento Galileo en órbita.

GIOVE-A, se lanzó en diciembre de 2005 y su objetivo principal era reclamar las frecuencias asignadas a Galileo por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Fue diseñado y dimensionado para una misión de 27 meses. Aunque sigue en funcionamiento (por Surrey Satellite Technology Ltd de Guildford, Reino Unido, para recopilar datos de radiación y resultados de rendimiento de un receptor GPS), oficialmente se retiró el 30 de junio de 2012, habiendo funcionado con éxito más del doble de su vida útil.

El GIOVE-B, se lanzó en abril de 2008 y tras las primeras operaciones de órbita, la puesta en marcha de la plataforma, la carga útil de navegación de GIOVE-B se activó y comenzó la transmisión de la señal. Las instalaciones clave en la prueba de señales GIOVE-B, incluyen el Centro de Control GIOVE-B en las instalaciones de Telespazio, en Fucino, Italia, el Centro de Procesamiento Galileo en el Centro Europeo de Investigación y Tecnología Espacial (ESTEC) de ESA en los Países Bajos, la Estación Terrestre ESA en Redu Bélgica y el Observatorio Chilbolton, del Rutherford Appleton Laboratory (RAL) en Reino Unido.

GALILEO, pretende ser un sistema complementario y compatible e interoperable con GPS y GLONASS, así como, con otras constelaciones existentes o en fase de desarrollo como por ej. la constelación BEIDOU.

Los dos primeros satélites operativos de Galileo, GSAT0101 y GSAT0102 se lanzaron desde la Guayana Francesa en octubre de 2011. El segundo par de satélites, GSAT0103 y GSAT0104 se lanzaron en octubre de 2012. Una vez completada la fase de validación en órbita (IOV), los satélites restantes se situarán en órbita a intervalos regulares hasta alcanzar la capacidad operacional total (FOC).

La constelación completa de Galileo, comprenderá 26 satélites distribuidos uniformemente alrededor de tres planos orbitales a una altitud de 23222 km e inclinados un ángulo de 56° respecto al ecuador. Cada satélite tardará alrededor de 14 h. en orbitar la Tierra. Desde prácticamente cualquier lugar, estarán visibles de seis a ocho satélites, lo que permite, determinar las posiciones y el tiempo con gran precisión. La interoperabilidad con el sistema estadounidense de satélites GPS y demás constelaciones servirá para aumentar la fiabilidad de los servicios de Galileo.



Fig. 18.- Constelación de satélites Galileo: Fuente: <https://www.esa.int/>

El sistema Galileo, una vez se encuentre en pleno funcionamiento, ofrecerá cuatro servicios de alto rendimiento en todo el mundo:

- **SERVICIO ABIERTO (OS):** servicio abierto y gratuito de Galileo, configurado para ofrecer servicios de posicionamiento y temporización.
- **SERVICIO COMERCIAL (CS):** servicio que complementa el sistema operativo proporcionando, una señal de navegación adicional y servicios de valor agregado en una banda de frecuencia diferente. Esta señal, puede cifrarse para controlar el acceso a los servicios CS de Galileo.
- **SERVICIO PÚBLICO REGULADO (PRS):** servicio restringido a usuarios autorizados por el gobierno para aplicaciones sensibles, que requieran un alto nivel de continuidad del servicio.
- **SERVICIO DE BÚSQUEDA Y SALVAMENTO (SAR):** servicio de contribución europeo COSPAS-SARSAT, sistema internacional de detección de alertas de socorro y salvamento basado en satélites.

En 2016, la UE declaró el inicio de los Servicios Iniciales de Galileo y planea completar el sistema de más de 24 satélites para el año 2020.

El estado actual de la constelación lo componen un total de satélites 26, de los cuales 17 están operativos, 5 se encuentran en trabajos de puesta en marcha, 2 en periodo de prueba, 1 no disponible y finalmente 1 no es utilizable. (<https://www.gsc-europa.eu/>).(<https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>)

2.5.3.- BEIDOU

El proyecto (BeiDou Navigation Satellite Demonstration System), se inició en 1994, se completó y puso en funcionamiento en 2000, con el lanzamiento de dos satélites geoestacionarios de órbita terrestre (GEO). El primer satélite de esta constelación, BEIDOU-1A se lanzó el 30 de octubre de 2000, seguido de BeiDou-1B el 20 de diciembre de 2000 y BeiDou-1C que se puso en órbita el 25 de mayo de 2003, lo que permitió mejorar aún más el rendimiento del sistema.

El objetivo de este proyecto es completar el despliegue de la constelación con el lanzamiento de 35 satélites para el año 2020, con el fin de proporcionar servicios a usuarios globales. Las características de estos satélites son las siguientes:

- 5 satélites BeiDou-G en órbita geoestacionaria (GEO), con 58.75° E, 80° E, 110.5° E, 140° E y 160° E, respectivamente.
- 27 satélites BeiDou-M en órbita terrestre media (MEO), situados en tres planos con una altitud nominal de 21528 km, período nominal de 12h 53' e inclinados 55° respecto al ecuador.
- 3 satélites BeiDou-I en órbitas geosincrónicas inclinadas (IGSO), con una altitud de 35786 km y una inclinación de 55° respecto al plano ecuatorial.

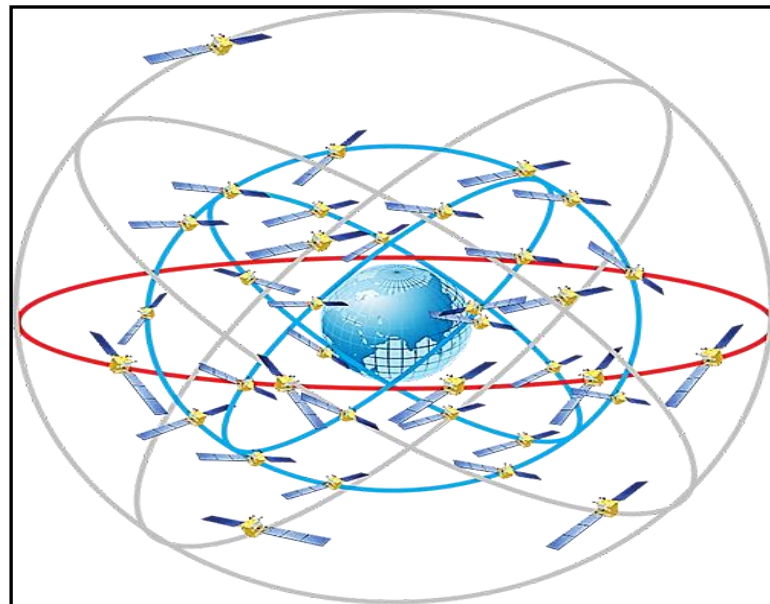


Fig. 19.- Constelación de satélites BEIDOU.

Fuente: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php#about>

BeiDou, transmite señales de navegación en tres bandas de frecuencia: B1, B2 y B3, que están en la misma área de la banda L que algunas señales GNSS.

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

Para beneficio de la interoperabilidad de señales BeiDou con Galileo y GPS, China anunció, la migración de su señal B1 civil de 1561.098 MHz, a una frecuencia centrada en 1575,42 MHz, igual que las señales civiles GPS L1 y Galileo E1 y su transformación de una cuadratura de modulación por desplazamiento de fase (QPSK), a una modulación de portadora de desplazamiento binario multiplexada (MBOC), similar a las futuras señales GPS L1C y E1 de Galileo. Centro de información para el usuario de BeiDou: <http://en.beidou.gov.cn/>

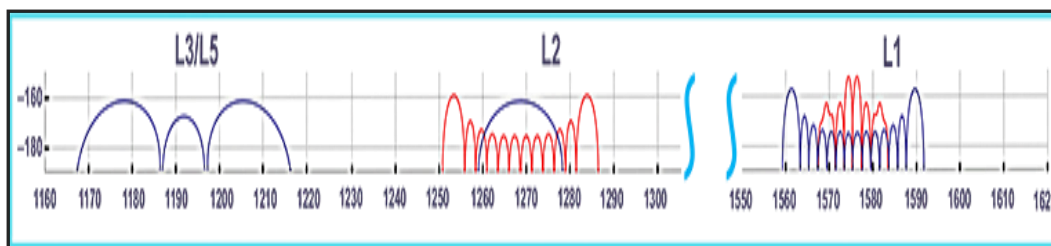


Fig. 20.- Características espectrales de las señales de navegación de BeiDou.

Fuente: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php#about>

2.5.4.- NAVIC

El sistema RNSS, es un GNSS de carácter regional, propiedad del Gobierno Indio, quien también dirige sus operaciones. IRNSS es un sistema autónomo, diseñado para cubrir la región india y 1500 km alrededor de su parte continental. En 2016, India renombró IRNSS como la Constelación India de Navegación (NAVIC), que consta de 7 satélites y deberá declararse operativo en 2018.

Tabla 6.- Características de la constelación Navic/Irnss:Fuente:

<http://qzss.go.jp/en/technical/satellites/index.html#NAVIC>

NAVIC (IRNSS)						
PRN	SVN	Satellite	Launch Date (UTC)	Orbit (*1)	Positioning Signals	Clock(*2)
I01	I001	IRNSS-1A	2013/7/1	IGSO	L5, S	RB
I02	I002	IRNSS-1B	2014/4/4	IGSO	L5, S	RB
I03	I003	IRNSS-1C	2014/10/15	GEO	L5, S	RB
I04	I004	IRNSS-1D	2015/3/28	IGSO	L5, S	RB
I05	I005	IRNSS-1E	2016/1/20	IGSO	L5, S	RB
I06	I006	IRNSS-1F	2016/3/10	GEO	L5, S	RB
I07	I007	IRNSS-1G	2016/4/28	GEO	L5, S	RB
	I009	IRNSS-1I	2018/4/11	IGSO	L5, S	RB

*1 Orbit Type: MEO = Medium Earth Orbit, GEO = Geostationary Orbit, IGSO = Inclined Geosynchronous Orbit, QZO = Quasi zenith satellite orbit
 *2 Clock: RB = Rubidium, CS = Cesium, PHM = Passive Hydrogen Maser, RAFS = Rubidium Atomic Frequency Standard, HMAc = Hydrogen Maser Atomic Clock.

2.5.5.- QZSS

QZSS, es un sistema de navegación por satélite GNSS regional, propiedad del Gobierno Japonés y operado por él. Complementa el GPS, mejorando la cobertura al este de Asia y Oceanía. Japón, planea tener una constelación de satélites autónoma para el año 2023.

El sistema QZSS complementa al GPS y está especialmente diseñado para su uso en regiones asiáticas y Oceanía. La situación ideal sería, mantener los satélites constantemente estáticos sobre el cielo de Japón (cenit visto desde la superficie de la tierra en Japón), sin embargo, los satélites no pueden ser estacionarios debido a la atracción gravitacional de la tierra y a las diferentes direcciones de la fuerza centrífuga.

Tabla 7.- QZSS Sistema de Navegación por Satélite.
Fuente: <http://qzss.go.jp/en/technical/technology/orbit.html>

PRN	SVN	Satellite	Launch Date (UTC)	Orbit (*1)	Positioning Signals	Clock(*2)
193	J001	QZS-1	2010/9/11	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5	RB
183					L1S	
193					L6	
194	J002	QZS-2	2017/6/1	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5	RB
184					L1S	
196					L5S	
194	J003	QZS-3	2017/8/19	GEO	L6	RB
199					L1C/A, L1C, L2C, L5	
189					L1S	
197					L5S	
187					L1Sb	
199	J004	QZS-4	2017/10/9	QZO	L6	RB
-					Sr/Sf	
195					L1C/A, L1C, L2C, L5	
185					L1S	
200	J004	QZS-4	2017/10/9	QZO	L5S	RB
195					L6	

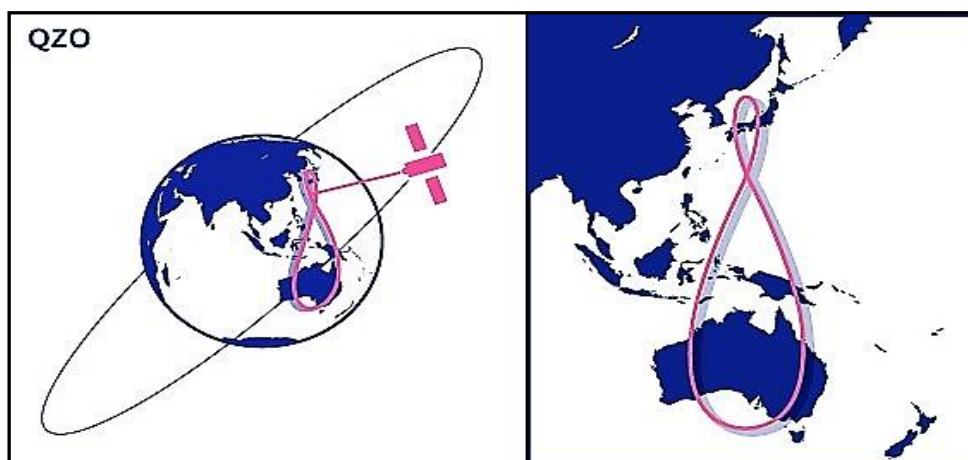


Fig. 21.- QZSS es una órbita en forma de ocho con asimetría norte-sur.

Fuente: <http://qzss.go.jp/en/technical/technology/orbit.html>

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

El QZO de QZSS es una órbita, con forma de ocho y asimetría norte-sur. Los satélites se mantienen, aproximadamente 13 horas en el hemisferio norte y 11 horas en el hemisferio sur, lo que les permite permanecer próximos a Japón durante un largo período de tiempo.

QZSS se puede utilizar de forma integrada con GPS, lo que aumenta el número de satélites que pueden transmitir señales de satélite al mismo tiempo, posibilitando un posicionamiento altamente preciso y estable, disminuyendo también los errores de posicionamiento.

Tabla 8.- Estado de la constelación QZS.
Fuente: <http://sys.qzss.go.jp/dod/en/constellation.html>

Message						
update : 2018/08/24						
<input type="checkbox"/> :In Operation <input type="checkbox"/> :Retired <input type="checkbox"/> :Outage <input type="checkbox"/> :In commissioning <input type="checkbox"/> :Maintenance <input type="checkbox"/> :In testing <input type="checkbox"/> :Time problem						
QZS						
Services	Positioning Signals	PRN	Operation	NAQU Date	NAQU Type	NAQU Number
QZ01 (SVN=001, Block type=IQ)						
PNT	L1C/A, L1C, L2C, L5	193	O			
SLAS	L1S	183	O			
CLAS	L6	193	O			
QZ02 (SVN=002, Block type=IQ)						
PNT	L1C/A, L1C, L2C, L5	194	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
SLAS	L1S	184	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
PTV	L5S	195	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
CLAS	L6	194	O			
QE03 (SVN=003, Block type=IQ)						
PNT	L1C/A, L1C, L2C, L5	199	X	2018/06/03	FCSTNX	2018300
SLAS	L1S	189	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
PTV	L5S	197	O	2018/08/23	GENERAL	2018454
PTV	L1Sb	187	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
CLAS	L6	199	X	2018/06/01	FCSTNX	2018283
Q-ANPI	Sr/Sr	-	O			
QZ04 (SVN=004, Block type=IQ)						
PNT	L1C/A, L1C, L2C, L5	195	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
SLAS	L1S	185	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
PTV	L5S	200	O	2018/07/31	GENERAL	2018415
CLAS	L6	195	O			

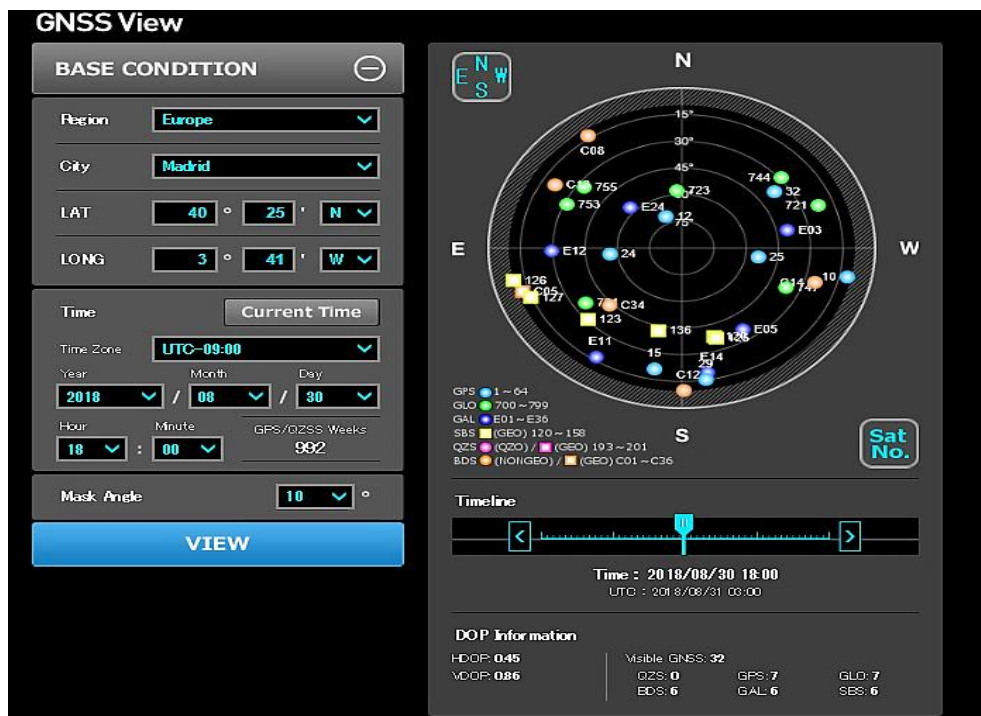
2.6.- INTEROPERABILIDAD

Se podría definir la interoperabilidad como la posibilidad de utilizar todas las constelaciones GNSS en cualquier lugar de la tierra y en cualquier instante, lo que significa que, un usuario tendría la opción de utilizar más satélites y señales. Con mayor número de satélites se tendrá más accesibilidad y menos errores, consiguiendo una alta

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

precisión en el posicionamiento. Considerando sólo GPS y GALILEO, podría haber más de 60 satélites en órbita y al incluir GLONASS, QZSS y BEIDOU, se podría llegar a más de 100. Si estas constelaciones se hacen realidad, un usuario podría encontrar entre 10, 20 o más satélites, por encima del horizonte en cualquier lugar y en cualquier momento.

En la figura 22, se observa una simulación, que permite comprobar cuántos satélites de todas las constelaciones podríamos observar sobre el horizonte de Madrid, con ángulo de elevación de 10° , el día 30/08/2018 a las 18:00h, dando los siguientes resultados: 32 satélites visibles GNSS, 7 corresponden a la Constelación NAVSTAR GPS enviando señales (L1-C/A / L2C), 6 a la Constelación Galileo - (E1, E5, E6), 7 al Sistema de Navegación Glonass - (L1, L2), 6 a la Constelación China BeiDou - (B1, B2, B3) y 6 satélites geoestacionarios SBS (GEO), con HDOP: 0.45 y VDOP: 0.86.



"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

También, se mejora la precisión a partir de la cantidad de satélites disponibles pudiendo eliminar o reducir diferentes errores propios del sistema, la optimización de la geometría de los satélites, la minimización del multipath y la reducción del error ionosférico.

Otros aspectos importantes, son los tiempos de inicialización, el tiempo de primera fijación para los receptores de la fase portadora, el período en que el receptor resuelve la ambigüedad, la descarga del almanaque y así sucesivamente. Más señales, implica que se dispondrá de mayor número de observaciones disponibles para resolver con mayor rapidez la ambigüedad. Las soluciones de doble frecuencia serán mejoradas directamente y si se utilizan tres frecuencias con la nueva señal L5, aumentará aún más el rendimiento.

También, afecta positivamente la simplificación de los algoritmos para conseguir alta precisión de fase portadora, al llevar muchas de las nuevas señales, código civil. En términos generales, la correlación de códigos es un problema más directo que la diferenciación de portadoras, permitiendo la fabricación de receptores más simples y menos costosos.

A pesar de existir similitudes, se presentan ciertos problemas en la consecución de la interoperabilidad entre los sistemas de navegación por satélite GNSS. La modernización GPS, la reposición de GLONASS y el despliegue de QZSS, BEIDOU y Galileo no han sido sincronizados. A pesar, de la importante cooperación, no existe un claro acuerdo entre naciones, sobre el hecho de que los lanzamientos y las capacidades operacionales de todos estos sistemas se produzcan en el mismo marco. También, hay diferencias entre GLONASS y GPS, respecto a CDMA y FDMA, así como, en los estándares de tiempo entre ambos sistemas. Para conseguir la interoperabilidad entre múltiples GNSS, las frecuencias deberán ser compatibles. Ya hay compatibilidad de señales entre subconjuntos de los satélites de las constelaciones GNSS, que estarán emitiendo a las mismas frecuencias. Sería deseable que, GLONASS L3 fuese interoperable con GPS L5 y GALILEO E5a. (J. Van, Sickle.2008).

El Comité Internacional sobre Sistemas Globales de Navegación por Satélite (ICG), se esfuerza por fomentar y facilitar la compatibilidad, interoperabilidad y transparencia entre todos los sistemas de navegación por satélite, para proteger y promover su uso en aplicaciones de servicio abierto, por tanto, beneficiar a la comunidad mundial. Su principal objetivo, es garantizar el mejor posicionamiento, navegación y tiempo basado en la disponibilidad de satélites para usos pacíficos, en cualquier lugar y en cualquier momento; puede ser consultado en la página Web del Comité Internacional sobre Sistemas de Navegación por Satélite (ICG) en la dirección: <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/icg.html>

El Gobierno de los Estados Unidos, así como, los Gobiernos de países que están desarrollando sus Sistemas de Navegación GNSS, han realizado declaraciones conjuntas

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

sobre el interés de conseguir, la interoperabilidad de todos los sistemas de navegación y todos los beneficios que conlleva el aumento de satélites, señales etc. GPS.gov, 2019, dirección: <https://www.gps.gov/policy/cooperation/>

CAPITULO III.- REDES GEODÉSICAS ACTIVAS

3.1.- ANTECEDENTES

Posiblemente, los antecedentes de las redes geodésicas activas los encontramos en el GPS diferencial de área amplia - (Wide Area Differential GPS), introducido por (Kee et al,1991; Ashkenazi et al, 1993). Utilizan métodos de corrección diferencial (DGPS) donde una estación terrestre recibe información de la constelación GPS y genera correcciones diferenciales, que son enviadas a los usuarios para cancelar los errores de las mediciones GPS, consiguiendo una posición de mayor calidad que la obtenida por un receptor GPS autónomo.

Dependiendo de la distancia entre la estación terrestre y los usuarios, se utiliza el concepto de corrección diferencial de área local (LADGPS), donde sólo existe una estación terrestre y las correcciones se transmiten desde la estación de tierra, a través de cualquier enlace de datos, por lo general, UHF o VHF. Con este método se pretende eliminar los errores debido a efemérides, errores troposféricos e ionosféricos, comunes a la estación terrestre de referencia y a los usuarios, pero, la precisión de las mediciones se degrada a medida que aumenta la distancia entre usuario y estación de referencia terrestre.

Cuando existen múltiples estaciones de referencia, se utiliza el concepto de WADGPS desarrollado por el Dr. Kee y el Prof. Parkinson en 1991, en la Universidad de Stanford. El GPS diferencial de área amplia (Wide Area Differential GPS), utiliza múltiples estaciones de referencia terrestres, para monitorear satélites GPS y generar correcciones vectoriales que incluyen, errores de reloj del satélite, errores de efemérides de los satélites y retrasos ionosféricos.

Una red WADGPS, incluye al menos una estación maestra, un número de estaciones de monitoreo que cubran la zona y enlaces de comunicación. Cada estación de monitoreo, está equipada con un reloj de alta precisión y un receptor GPS, capaz de rastrear todos los satélites dentro de su campo de visión. Las mediciones GPS, se toman en cada estación de monitoreo y son enviadas a la estación maestra. Ésta, con la información recibida, resuelve los componentes de errores de GPS en función de las ubicaciones conocidas de las estaciones de monitoreo. Las correcciones de error calculadas se transmiten a los usuarios, a través de, cualquier enlace de comunicación conveniente, satélite, teléfono o radio.

El sistema WADGPS, proporciona un vector de corrección de errores, compuesto por: un error de efemérides tridimensional, compensación de reloj para cada satélite GPS y parámetros de retardo ionosférico. La precisión de la corrección WADGPS, es prácticamente constante dentro de la región supervisada, degradándose ligeramente en el perímetro.

Kee et al (1996), establece las siguientes ventajas de WADGPS sobre DGPS:

1. La cobertura WADGPS puede extenderse a regiones inaccesibles, como grandes masas de agua, que no pueden ser cubiertas por DGPS y puede obtenerse con menos estaciones de referencia, que con las individuales necesarias en DGPS
2. La precisión de WADGPS, se degrada con mayor lentitud en función a la distancia desde la estación de referencia más cercana, que con DGPS, e incluso puede llegar a ser independiente de la línea de base.
3. Cuando se incorpora la integridad, el rendimiento de la red WADGPS, puede degradarse más lentamente, ante el fallo de una o más estaciones de referencia GPS, que si se trata de un conjunto de estaciones de referencia DGPS y aún podría mantener una alta confiabilidad e integridad.

La precisión del sistema GPS, en posición autónoma es de 22 m. en planimetría y 28 m. en altimetría, al 95% de confianza (Elliott D. Kaplan et al, 2006). Las técnicas de procesado diferencial, han conseguido aumentar de forma considerable las precisiones del sistema. Actualmente, utilizando receptores de doble frecuencia y técnicas de procesado cinemático en tiempo real (RTK), podemos alcanzar precisiones de $1 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$, al 68% de confianza en RTK convencional. (Jan Van Sickle, 2001).

Aunque se alcanzan precisiones importantes, la RTK convencional tiene una serie de limitaciones. La cobertura global y los algoritmos de cálculo utilizados para procesar la señal, están limitados a distancias entre 20 y 50 km de la estación de referencia, por otra parte, a medida que aumenta la distancia de la referencia, los errores que dependen de la distancia (orbitales, ionoféricos y troposféricos), empiezan a degradar la solución. A partir de 20 km de longitud de la referencia, los errores del receptor móvil y referencia dejan de ser comunes y no pueden eliminarse cuando se realizan diferencias, por ello, es recomendable disminuir esta longitud a 10Km. (Wegener y Wanninger, 2005).

Estas limitaciones, afectan la productividad del trabajo diario, en cuanto, a la realización de estacionamientos, configuración de trabajo etc. como, en el aspecto económico, pero, actualmente quedan superadas, con la utilización de una red de estaciones de referencia de funcionamiento continuo, (Continuously Operating Reference Station (CORS), también denominadas redes RTK. (Fotopoulos et al, 2001; Rizos et. al, 2002; Alves et al, 2006 y Aponte et al, 2009). Están constituidas, por un determinado número de receptores GNSS de doble frecuencia, distribuidos de forma homogénea por el área a la se pretende dar servicio, un centro de control, que recibe la información de dichas antenas y un canal de difusión de datos. El centro de control, a partir de la información reciba por cada una de las antenas, determina y modela los errores de las mediciones GPS, creando unas correcciones que son enviadas por el canal de difusión de datos, a fin de, mejorar la solución obtenida en tiempo real (RTK).

Sin embargo, obtener precisiones de cm. en tiempo real, utilizando una red de estaciones de funcionamiento continuo (CORS), basándose en medidas de fase portadora,

requiere la resolución de diversas cuestiones, necesarias para obtener una solución de alta precisión.

(Fotopoulos et al, 2001), establece tres módulos, para que, el usuario de una red de estaciones de funcionamiento continuo, pueda obtener una solución RTK.

1. Resolución de la ambigüedad de la red, en bases de líneas largas y en tiempo real.
2. Generación de correcciones.
3. Transmisión de correcciones al usuario de RTK.

Las técnicas de múltiples estaciones de referencia, requieren el conocimiento previo de las ambigüedades de doble diferencia, entre las estaciones de referencia de la red, que en general, se determinan como números enteros. En la década de los 90, fueron muchos los científicos que estudiaron diferentes técnicas, sobre la resolución de ambigüedades, utilizando medidas de fase (Blewitt, 1989; Dong & Bock, 1989). Se propuso, una técnica de resolución de ambigüedad denominada OTF, que utiliza múltiples estaciones de referencia, (Frei y Beutler, 1990; Hatch, 1990; Chen y Lachapelle, 1995; Jonge, 1997; Teunissen, 1998; Han y Rizos, 1996; Wübbena et al., 1996). Estas técnicas han mejorado considerablemente, la eficacia de la búsqueda de ambigüedad OTF, haciéndola aplicable a los métodos en tiempo real.

La calidad de las correcciones RTK, depende de varios factores interrelacionados (Alves et al ,2006)., geometría de la red, errores de medición, eliminación de las ambigüedades y método de interpolación utilizado.

Actualmente, existen diferentes métodos de generación de correcciones, para eliminar los errores dependientes de la distancia, utilizando una red de estaciones permanentes; estas correcciones dependen del carácter unidireccional o bidireccional de la comunicación.

En enlace unidireccional, el usuario recibe la información directamente, es el caso de: correcciones Flächen Korrektur Parameter (FKP), parámetros de corrección de área (Wübbena et al 2001 y Jansen, 2009) y correcciones Master Auxiliary Concept (MAC) concepto master auxiliar, (Euler et al 2001; Zebhauser et al., 2002; Brown et al., 2005b).

En enlace bidireccional, el receptor móvil debe enviar su posición aproximada al centro de control, generando éste, unas correcciones adecuadas para el equipo móvil. Tal concepto es empleado por las siguientes arquitecturas RTK: Virtual Reference Station (VRS), (Landau et al, 2002; Jansen, 2009; Petovello 2011), Individualized Master-Auxiliary (I-MAX) (Brown et al. 2005; Leica, 2005) y Pseudo Reference Station (PRS) (Wübbena et al, 2005)

Otra consideración, relacionada con la calidad de las correcciones de red RTK, responde a los métodos de interpolación utilizados para modelar los sesgos residuales,

dependientes de la distancia y se han propuesto varios métodos de interpolación. (Rizos et al,2002).

1. Modelo de Combinación Lineal (Han & Rizos, 1996; Han, 1997)
2. Método de Interpolación Lineal Basada en la Distancia (Gao et al., 1997; 1998)
3. Método de Interpolación Lineal (Wanniger, 1995; Wübbena et al., 1996)
4. Modelo de superficie de bajo orden (Wübbena et al., 1996; Fotopoulos y Cannon, 2000)
5. Método de colocación de mínimos cuadrados (Raquet, 1997; Marel, 1998).

Dai, et al, 2004, compararon varios métodos de interpolación, óptimos para técnicas de redes de estaciones de referencia, incluyendo el modelo de combinación lineal, el método de interpolación lineal basado en la distancia, el modelo de superficie de orden bajo y el método de colocación por mínimos cuadrados. Se utilizaron datos de prueba, obtenidos de varias redes de estaciones de referencia de funcionamiento continuo GPS / Glonass, para evaluar el rendimiento de estos métodos. Obteniendo como resultado, un rendimiento similar en todos los métodos, excepto, el método de interpolación lineal dependiente de la distancia que muestra resultados ligeramente inferiores.

Una vez generadas las correcciones, debe transmitirse la información al usuario en tiempo real, para lo que, son necesarios tres componentes: formato del mensaje, protocolo de transmisión y enlace de comunicación de datos.

Los formatos de los mensajes, deben ser compactos e interoperables entre los sistemas de estaciones de referencia permanentes y los receptores utilizados por los usuarios.

Las correcciones necesarias para obtener una buena calidad posicional utilizando métodos diferenciales (DGNSS), (PDGNSS) o (MRS), se envían a través de mensajes en formato estándar (RTCM, The Radio Technical Commission for Maritime Services- Comisión Técnica de Radiocomunicaciones para los Servicios Marítimos). Su función principal es, desarrollar estándares técnicos para un gran número de productos electrónicos marinos, que van desde, los dispositivos de señalización de supervivencia: EPIRB (radiobalizas de indicación de posición de emergencia), PLB (balizas de localización personal), SEND (dispositivos de notificación de emergencia por satélite), hasta, DSC (digital selective calling), Global Navigation Satellite Systems.

La Comisión Técnica de Radiocomunicaciones para los Servicios Marítimos, la constituyen 15 Comités Especiales (SC), que crean y actualizan estándares para una gran variedad de equipos. Cada comité, está formado, por entre 6 a 30 miembros activos y frecuentemente, por uno o más grupos de trabajo. El comité, SC-104-Differential Global Navigation Satellite Systems (DGNSS), desarrolla los estándares de mensajes utilizados

en los métodos de correcciones diferenciales, para la obtención de altas precisiones de posicionamiento.

La versión 2.0 de RTCM, definida el 1 de enero de 1990, se basó en la estructura del Mensaje de Navegación GPS, al ser idénticos, el número de palabras, los algoritmos de paridad y el formato y se creó para, realizar correcciones de pseudodistancia con la finalidad de apoyar aplicaciones DGPS con diferentes tipos de mensajes (RTCM, 1990). El mensaje Tipo 1, contiene información de correcciones diferenciales, tales como, corrección para Pseudo-Range (PRC), Range-Rate Correction (RRC), Issue of Data (IOD) y User Differential Range Error (UDRE). El mensaje Tipo 2, contiene correcciones diferenciales GPS, es decir, la diferencia entre correcciones de pseudodistancia y correcciones de range-rate, resultantes de un cambio en los datos de navegación del satélite. El Tipo 3, contiene la ubicación en el sistema (Earth-Centred Earth-Fixed) (ECEF) de la estación de referencia. El Tipo 59, es un mensaje no estándar que permite la transmisión de cualquier dato RTCM en su versión 2.0 (1990) pero que no admite información de apoyo desde una Red de Estaciones de Referencia.

En 1994, RTCM se actualizó con la versión 2.1, con mensajes RTK, portadora de fase y pseudodistancia transmitidos como información de mediciones crudas, no corregidas (Tipos 18 y 19) o como correcciones (Tipos 20 y 21). En 1997, se actualizó a la versión 2.2 y en 1998 se utilizó, introduciendo correcciones diferenciales del sistema de satélites ruso GLONASS (Tipo 31).

RTCM en su versión 2.3 (RTCM, 2001) se especificó en el año 2001, agregando más tipos de mensajes, tales como, descripción de antena, número de serie de antena (Tipo 23) y coordenadas del punto de referencia de antena (ARP) en la estación de referencia (ECEF X, Y, Z) y opcionalmente altura de antena (Tipo 24).

Aunque esta versión, ha sido adoptada por todos los fabricantes de receptores y sigue utilizándose en aplicaciones DGNSS y PDGNSS, presenta, sin embargo, ciertas limitaciones. Esta estructura, desaprovecha el ancho de banda y no es suficientemente flexible para incluir nuevas señales, como, L2C y L5 (GPS) y otras futuras de Sistemas GNSS, como, GALILEO y COMPASS.

En 2004, se introdujo un nuevo estándar conocido como, RTCM SC104, versión 3.0 (o simplemente RTCM versión 3), con el fin de mejorar las operaciones RTK, supera las limitaciones anteriores, realizando una reestructuración del formato. El mensaje RTCM (Tipo 1003) es un mensaje de bifrecuencia GPS RTK, basado en mediciones crudas de pseudorange y de fase portadora y divide la corrección L1 y L2, en las componentes dispersiva y no dispersiva: Ionospheric Carrier Phase Correction Difference (ICPCD) y Geometric Carrier Phase Correction Difference (GCPCD), lo que, posibilita una reducción adicional de hasta el 80%, en el ancho de banda por la transmisión separada. Esta versión, presenta un formato flexible desde una perspectiva operacional. Los tipos de mensaje, se han organizado en diferentes grupos y cada grupo, contiene informaciones

similares. Por ello, los tipos de mensajes pueden mezclarse, lo que supone una economía en la emisión. Aunque RTCM versión 3, supera las limitaciones de RTCM versión 2, ambas versiones no son compatibles.

En su versión 3.1., difundida en el año 2006 (RTCM, 2006), RTCM SC104 mensajes RTCM RED - RTK, empleando la técnica Red-RTK, en lugar de base simple RTK, se aumenta, no solo, la distancia entre receptores, sino también la confiabilidad. El modelado de los errores sistemáticos a través de la red de Estaciones de Referencia, es la clave para lograr alta precisión. Leica Geosystems y Geo++ propusieron conjuntamente, una nueva solución de red, basada en RTK, conocida como, Master Auxiliary Concept (MAC), a su vez apoyada en RTCM 3.0. La versión 3.1. contiene nuevos mensajes para operaciones de red, concepto MAC y datos de efemérides GPS/GLONASS, así como, para mensajes de texto arbitrario. Se puede consultar la en la página web Copyright © 2019, RTCM en la dirección <https://www.rtcn.org>

Finalmente, una vez reconstruido el formato de correcciones, se necesita una red de difusión de datos. El sistema de comunicación de datos puede realizarse:

1. Entre el centro de control, donde se realizan todos los cálculos y las diversas estaciones de referencia.
2. Entre el centro de control y los usuarios.

Los protocolos de transmisión de datos, son los encargados de administrar y controlar el flujo de datos a través de una red. Los más divulgados, para enviar datos GNSS vía Internet son, Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) y Real-Time IGS (RTIGS, 2008).

NTRIP, fue desarrollado por la Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) y la Universidad de Dortmund (Alemania); utiliza los principios de la tecnología internet radio, para difundir datos GNSS en tiempo real, utilizando internet. Es un protocolo genérico, basado en el Hypertext Transfer Protocol HTTP/1.1. y admite el acceso inalámbrico a Internet a través de redes IP móviles como, GSM, GPRS, EDGE o UMTS.

El Comité RTCM, aceptó NTRIP versión 1.0 como un estándar para comunicaciones (RTCM, 2004b). Utiliza un Protocolo de Control de Transmisión y el Protocolo de Internet (TCP/IP), para obtener una entrega confiable de datos.

El software del sistema Ntrip, consta de tres componentes:

- NtripClients.
- NtripServers.
- NtripCasters.

NtripCaster, es el programa de servidor HTTP real, Ntripclient y Ntripserver actúan como clientes HTTP. Ntrip, está destinado a ser un protocolo abierto, no propietario. Se basa en el estándar de transmisión HTTP y es relativamente fácil de implementar cuando los recursos limitados de la plataforma del cliente y del servidor están disponibles. Su aplicación no está limitada a un contenido de flujo simple o codificado en particular, tiene la capacidad de distribuir cualquier tipo de datos GNSS y el potencial de soportar el uso masivo. Puede difundir cientos de transmisiones de forma simultánea, a mil usuarios cuando se aplica un programa modificado de radio por Internet. RTCM 10410.1 Standard for Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip), Version 2.0 with Amendment 1, June 28, 2011.

El protocolo RTIGS, fue introducido por el Grupo de trabajo Real-Time IGS, para difundir datos GNSS en internet. Está basado en UDP/IP y usa el formato de datos denominado SOC, diseñado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL), para transportar datos de observaciones GPS con un mínimo de ancho de banda. Su uso, está menos difundido que NTRIP.

El tercer punto para la transmisión de correcciones, es el enlace de datos entre el centro de control y los usuarios finales.

Las primeras aplicaciones DGPS, utilizaron UHF (Ultra High Frequency) o VHF (Very High Frequency), posteriormente, el desarrollo de las técnicas de comunicación, fundamentalmente, la inalámbrica con acceso a través de internet, hace que ésta sea la más utilizada como medio de transporte de datos, en las redes RTK. Contamos con Redes IP móviles, como EDGE o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), GSM (Global System for Mobile communications) que son generalmente tarifadas por tiempo de conexión y las GPRS (General Packed Radio Service), tasadas por la cantidad de datos transmitidos. (Alfredo et al, 2014).

Muchos autores, han estudiado el funcionamiento y realizado diferentes pruebas para comprobar la calidad del servicio RTK de una red de estaciones de referencia permanentes. Las pruebas, se realizan a una serie de puntos de control que están situados dentro o en los bordes de la red, entre diferentes redes activas regionales o entre los límites de diferentes países, utilizando diferentes arquitecturas RTK y comparando la calidad de los datos obtenidos. Seguidamente, se exponen algunos de los trabajos que se han tomado como referencia, en el desarrollo de esta tesis.

Landau et al. (2002), realizaron cuatro pruebas simultáneas para evaluar el rendimiento RTK, utilizando solución simple y solución de red. Como red de pruebas se utilizó la BLVA, en la región de Baviera (Alemania), que consta de 7 estaciones de referencia permanentes. Se utilizaron cuatro receptores GPS, conectados a una antena, dos de ellos, se configuran con solución simple (RTK) desde dos estaciones de la red, generando bases-línea de 16 y 32 km respectivamente y los otros dos, se configuran con solución de red (NRTK). La duración de las pruebas fue de 40 horas.

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: los tiempos menores de inicialización RTK, utilizando solución de red, fueron obtenidos en la línea base de 16 km, seguida de la línea base de 32 km. y utilizando solución simple, ambas líneas base obtuvieron peores tiempos de inicialización.

Guillermo et al, (2005), efectuaron pruebas de rendimiento RTK, para la implementación de la red RTK, de Castilla y León., que está operativa desde 2007. Se analizaron parámetros para caracterizar el Rendimiento RTK: precisión, exactitud, homogeneidad de las soluciones obtenidas y tiempo de resolución de ambigüedades, utilizando diferentes tipos de correcciones diferenciales. Los resultados obtenidos, ponen de manifiesto que las prestaciones de, precisión y tiempo de resolución de ambigüedades ofrecidas por los sistemas RTK en red, es similar, a la que se alcanza utilizando RTK convencional. El rendimiento RTK en red, se considera adecuado, para aplicarlo a los proyectos de ingeniería y topografía, donde se utilizan sistemas de RTK convencionales. La exactitud en la medida alcanzada en la red de pruebas, se considera bastante alta. Sin embargo, en altimetría, se han detectado diferencias sustanciales.

C. Gordini et al, (2006), describen la CORS Red GPS (GPS Net), creada en Victoria (Australia). Consta de 16 estaciones de referencia y cubre un área de más de 1.2 millones de hectáreas, la separación de las estaciones puede llegar a ser de varios cientos de kilómetros (desde 50 kms, en el área metropolitana MELBpos, hasta 200 kms en la GPSnet rural y regional).

Se realizaron varias pruebas, para verificar la precisión y la exactitud de las coordenadas de los puntos, que se pueden obtener en tiempo real. El objetivo de las mismas es, evaluar los límites de la solución VRS NRTK en un área extensa y con distancia entre receptores mayor de 70 kilómetros. Se llevaron a cabo con una antena de doble frecuencia, ubicada en el techo del Departamento de Geomática de la Universidad de Melbourne, que actuó como receptor del usuario. La señal de la antena se dividió enviándose a dos receptores de doble frecuencia. Para conectarse al servicio en tiempo real de la red GPSnet TM CORS, se utilizó una tecnología de comunicación GPRS.

La primera prueba, fue diseñada para evaluar la exactitud y precisión de la solución de red VRS, con distancias recomendadas entre receptores de las estaciones de referencia, menores de 70 km como promedio. Se utilizó la red MELBpos, en una sesión de campo de 48 horas, que permitió evaluar la exactitud y precisión de los datos recopilados. Los datos, se obtuvieron usando una señal GPS dividida, desde una antena Leica AX 1202 a dos receptores Leica GX-1230. La solución configurada es la VRS NRTK, los datos se registraron en tiempo real, utilizando la conectividad GPRS y el formato del mensaje para aplicar correcciones GPS a los receptores de prueba, fue el RTCM3.0.

La segunda prueba, fue diseñada para evaluar la repetibilidad diaria de la solución. Para este propósito, se utilizó la misma configuración adoptada para la prueba anterior, pero en este caso, uno de los receptores se conecta a la red MELBpos, en el área

metropolitana de Melbourne, cuyas estaciones de referencia se encuentran a una distancia media de 50 km y el otro receptor se conectó a una red de prueba, denominada MelbUniTest, que simuló el servicio VICpos en Victoria rural y regional, donde las distancias entre receptores eran más de 130 kilómetros en promedio. Esta red, se creó excluyendo todas las estaciones de referencia más cercanas de 65 km del punto de prueba. Los datos se recopilaban en una sesión de 48 horas y la solución configurada es la VRS NRTK.

La tercera prueba, pretendía investigar la influencia de la distancia entre receptores de las estaciones de referencia. Se utilizaron dos redes para crear la solución VRS y las mismas dos configuraciones de red, de la prueba 2, para evaluar la influencia de la distancia entre receptores.

La cuarta prueba, se diseñó para evaluar el trabajo de diferentes receptores. Se dividió una señal GPS de una antena geodésica Trimble Zephyr, a dos receptores de frecuencia dual, uno Trimble 5700 y otro Leica GX 1230. Ambos receptores registraron datos para el procesamiento posterior, durante un periodo de observación de 6 horas.

La quinta prueba, fue diseñada para evaluar la utilización de diferentes formatos de mensajes. Se utilizó una antena geodésica Trimble Zephyr y dos receptores Leica GX 1230, en modo VRS con una red VICpos en la solución, usando RTCM3.0 y RTCM2.3 respectivamente. Se registraron datos durante más de 34 horas, con una frecuencia de muestreo de 1 segundo.

Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas fueron los siguientes:

La prueba 1, muestra una solución de peso para generar un VRS, utilizando la red MELBpos. El 99% de la ambigüedad de la fase portadora, se ha resuelto en 48 horas de tiempo de prueba. Se ha obtenido una exactitud de 0.3 cm en el este y 0.4 cm en el norte y en altura. Se ha logrado una precisión de 0,4, 0,6 y 1 centímetros para las componentes este norte y elipsoidal.

La prueba 2, investigó la repetibilidad diaria de la solución, utilizando MELBpos y una red con gran distancia entre las estaciones de referencia. La repetibilidad de la solución usando MELBpos confirma la exactitud y la precisión obtenida en la prueba 1, con una desviación estándar, menor de un centímetro en este, norte y altura. Los resultados resultan alentadores y provienen de la solución de red MelbUniTest. Esta red se ha configurado para simular la solución VICpos, en áreas rurales con una distancia entre receptores de más de 100 km. En este caso, la distancia entre receptores fue de un promedio de 133 Km. Los valores de exactitud de la solución VRS, están en un rango entre 0,4 y 2 cm durante dos días consecutivos. La precisión, en cambio, es menor que la obtenida con MELBpos.

La prueba 3, compara la solución VRS obtenida con MELBpos y MelbUniTest, época por época, durante 48 horas. Se deben realizar más pruebas, para establecer un

límite razonable, para la distancia entre receptores con los algoritmos de estimación de sesgo existentes. Sin embargo, son alentadores los resultados que provienen de la solución de red MelbUniTest, con distancias entre receptores de 130 km. Más del 80% de las ambigüedades de la fase portadora, se han resuelto con exactitud, en términos de diferencia de coordenadas, entre el valor verdadero y el promedio del valor VRS, en menos de 1 cm, en este, norte y altura, con una precisión de 5 cm en este, 8 cm en norte y 14 cm en altura.

La prueba 4, muestra resultados optimistas con diferentes fabricantes de receptores: Trimble y Leica. La solución obtenida con el Leica GX 1230, presenta pocos valores atípicos (1% de los datos) con hasta varios dm de error, probablemente debido al hecho, de que el número entero de ambigüedad de fase se ha determinado erróneamente, después de una pérdida de bloqueo de dos minutos.

La prueba 5, muestra que RTCM2.3 y RTCM3.0, son comparables en términos de precisión y exactitud, sin embargo, se deben realizar análisis adicionales para estudiar, el volumen de datos transmitidos, los costos y los beneficios relativos

Aponte et al, (2009), realizaron las pruebas preliminares de una investigación del servicio SmartNet, desde el punto de vista del usuario, con el fin de evaluar la calidad de servicio NRTK; se realizaron varias pruebas, aplicando métodos estáticos y cinemáticos, empleando diferentes correcciones (Concepto MAC, AUTO-MAX, IMAX) y utilizando el mismo tipo de equipos que los usuarios de SmartNet en Gran Bretaña, además, se investigó la influencia del número de satélites visibles y su geometría, la dilución de la precisión (DOP) y la edad de las correcciones (AoC) sobre la precisión y la estabilidad de la solución GPS NRTK. Esta investigación, demostró que SmartNet (NRTK GPS) puede ofrecer una exactitud de posicionamiento de centímetros y precisión (3-sigma) a sus usuarios finales. En general, las observaciones NRTK fueron más precisas que las logradas con las soluciones RTK de líneas base convencionales, tanto a distancias cortas como largas.

(Lou, et al, 2009), utilizó la red de la Estación de Referencia Virtual (VRS) de Shanghai, como infraestructura para el sistema de información "Digital Shanghai", proporcionando un servicio de alta precisión y posicionamiento rápido. Se realizaron pruebas sistemáticas en diferentes ubicaciones en Shanghai, para evaluar la precisión y confiabilidad alcanzables para el posicionamiento VRS-RTK. Los resultados indican que el posicionamiento de la red VRS de Shanghai, logró precisiones satisfactorias en los componentes de posición horizontal y vertical, con valores 1,5 y 3 cm, respectivamente. La fiabilidad media fue de 3 mm.

(Edwards, et al 2010), su objetivo es probar el rendimiento de la red RTK (Red OS), en Gran Bretaña, se dispone de 120 estaciones de referencia de funcionamiento continuo, suministradas por proveedores de servicios comerciales, como, "Smart Net" de Leica y "VRS Now" de Trimble. Se realizaron pruebas, tanto en condiciones ideales, como a

distancias y diferencias de elevación mayores, con respecto a las estaciones de referencia más cercanas, en la proximidad a los bordes de OS Net, con una mayor susceptibilidad a los efectos de carga de la marea oceánica. También, se hicieron pruebas en seis ubicaciones representativas que abarcan Inglaterra y Gales, para comparar la precisión posicional de ambos sistemas de redes RTK comerciales, en comparación con las coordenadas precisas, determinadas con el software de procesamiento de GPS científico de la Universidad de Berna. Los resultados obtenidos, en las medidas de calidad de las coordenadas proporcionadas por las soluciones RTK de la red, son en general representativas de la precisión de las coordenadas reales, que suele ir de, 10 a 20 mm en la posición y de 15 a 35 mm en la altura, pudiéndose usar con éxito para identificar valores atípicos. La precisión de posición tiende a ser más pobre fuera de los límites de OS Net y cuanto mayores son las diferencias de elevación de las estaciones de referencia.

(*Janssen, et al, 2011*), utilizan la CORSnet-NSW para investigar el rendimiento del servicio, empleando solución de red (NRTK) CORSnet-NSW, fuera del área metropolitana de Sydney, con distancias inter-CORS mayores que las encontradas en Sydney (25 km de promedio). CORSnet-NSW, consta de 59 estaciones de referencia, ubicadas principalmente en la región costera y la parte oriental del Estado. Los servicios que ofrece esta red son: cobertura GPS diferencial con precisiones por debajo del metro, zonas donde se pueden utilizar métodos cinemáticos en tiempo real, con solución simple, precisiones de 2 cm y coberturas de solución de red NRTK, de 2 cm. Inicialmente, solo cubrían el área metropolitana de Sydney, actualmente, los servicios NRTK se han extendido a otras regiones. En 2011, más de las tres cuartas partes (78%) del área de NSW está cubierta por el servicio DGPS, mientras que RTK solución simple, sólo está disponible para un tercio (31%) del área de NSW.

Se realizó una primera prueba para determinar la precisión a largo plazo, es decir, la repetibilidad, de las soluciones de red NRTK y solución simple RTK, mediante la recopilación de datos durante tres días en tiempo real. El punto de prueba se situó en un edificio de la Universidad Macquarie, rodeado de cuatro estaciones de referencia, con distancias entre ellas de 29 y 33 km. Se utilizaron seis receptores Leica, configurados en solución de red (VRS y MAC), utilizando datos de las estaciones de referencia CORSnet-NSW circundantes y en modo de solución Simple RTK, conectados a tres estaciones de referencia diferentes. Todos los receptores, recopilaron datos en tiempo real, con un intervalo de 1 segundo. Sólo se analizaron los datos obtenidos con la solución de red VRS y los obtenidos en solución simple, desde la referencia más cercana situada a 15 km.

Para establecer los resultados de la prueba 1, se determinó una solución de coordenadas en tiempo real (este, norte y altura elipsoidal), durante un período de observación de 3 días. Ante de tomar los datos, al equipo móvil GNSS se le aplicó un indicador de calidad para la obtención de coordenadas. En el software Leica, este indicador se denomina CQ y se calcula en el móvil, como el cuadrado medio de la raíz (RMS) de los errores de coordenadas, indicando, cuánto es probable que la posición calculada se desvíe del valor verdadero. En este análisis, sólo se consideran los datos

dentro de un valor CQ de 50 mm, para posición y altura, que es el valor predeterminado y recomendado por el fabricante. El 99,6% de los datos, utilizando la solución de red NRTK (VRS) y el 99,8 % utilizando la solución simple RTK, pasaron el filtro.

El RMS, realizando pruebas durante 3 días, proporciona una medida de la precisión, que varía según la solución empleada. Con solución de red, se obtiene un RMS de 12,3 mm y 21,2 mm en componentes horizontal y vertical respectivamente y en solución simple, se obtiene 15,4 y 30.4 mm respectivamente.

La segunda prueba, utilizando solución de red y solución simple, consistió en determinar la exactitud de las coordenadas obtenidas, comparándolas con las ofrecidas por SCIMS, una base de datos que contiene coordenadas, alturas y atributos relacionados para las Marcas Permanentes de Topografía (PSM), que constituyen la Red de Control Estatal de NSW. Esta información, se recopila según determina la Ley de Topografía e Información Espacial de 2002 y el Reglamento de Topografía e Información Espacial de 2017.

CORSnet-NSW, trabaja en la realización del marco de referencia nacional GDA94 (2010), se requiere la calibración de la zona de trabajo, para relacionar las encuestas que utilizan CORSnet-NSW, con la red local en el marco GDA94(1997). Los puntos elegidos para realizar la calibración fueron, los vértices de la red local, de clase y orden lo más alto posible y se observaron durante 5 minutos. La calibración de la zona de prueba se realizó, usando solución de red NRTK y solución simple RTK desde la estación de referencia CORSnet-NSW más cercana. Para esta calibración, se realizó una transformación tridimensional directa de 7 parámetros y el umbral, para su aceptación se estableció en, 20 mm en este y norte y 50 mm en altura.

Se eligieron dos zonas de pruebas, dentro del área rodeada por los puntos de calibración, se seleccionaron una serie de marcas o vértices de alta calidad como puntos de prueba, además, de una buena visión del cielo con obstrucciones de bajas a moderadas. Los puntos de prueba, se observaron durante 1 minuto, utilizando solución de red NRTK y aplicando la calibración realizada; inmediatamente después de la reinicialización, se utiliza la solución simple RTK, en relación con la estación de referencia más cercana de CORSnet-NSW. A continuación, se vuelven a ocupar los vértices de prueba, realizando 10 repeticiones en cada uno.

La distancia entre estaciones de referencia de la red CORSnet-NSW alrededor del perímetro en las dos zonas de prueba está, entre 37 y 52 km en una y entre 66 y 80 km en la otra, quedando ambas, dentro de la distancia recomendada entre estaciones de referencia (70 y 90 km). En concreto, la solución simple RTK, utilizó el sitio CORSnet-NSW más cercano, con una distancia de 16 km. Para cuantificar la exactitud alcanzada, utilizando solución de red NRTK y solución simple RTK, se compararon las observaciones en tiempo real de las marcas establecidas en las dos áreas de estudio, con sus coordenadas SCIMS publicadas.

Para cuantificar el acuerdo general con SCIMS en cada área de prueba, se calculó el RMS en la componente horizontal y vertical, de todos los puntos de prueba. El RMS obtenido con solución de red NRTK, mejora al obtenido con solución simple RTK, con un factor de 2.6 en componente horizontal y 2.3 en componente vertical.

Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes: la solución de red NRTK, obtiene resultados similares que la solución simple RTK, pero, proporciona mejor precisión y exactitud con SCIMS, especialmente en las celdas NRTK más grandes, que requieren líneas de base más largas. Los resultados obtenidos, utilizando solución simple RTK, están dentro del límite recomendado para distancias entre CORS. La solución de red NRTK puede proporcionar precisiones de aproximadamente 12 mm, en componente horizontal y 21 mm, en componente vertical (RMS a 1 sigma), cuando las distancias entre estaciones de referencia CORS, son aproximadamente de 30 km.

En ambas áreas, la solución de red NRTK, produce un acuerdo comparable con SCIMS (RMS a 1 sigma), de aproximadamente 20 mm, en componente horizontal y menor de 30 mm, en componente vertical, mientras que, la precisión de solución simple RTK, como se esperaba, se degrada significativamente con el aumento de la longitud de la línea base.

(*Garrido et al,2011*). La disponibilidad de tres redes locales activas, Regam, Meristemum y Erva, próximas a la frontera entre la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana (SE España), ha permitido, analizar la exactitud y la precisión alcanzada en posicionamiento en tiempo real. Los resultados de la prueba de posicionamiento RTK, en estas regiones, muestran que es posible conseguir centímetros de precisión en el posicionamiento RTK, basado en redes RTK. Los resultados de precisión obtenidos en las componentes norte y este, son homogéneos, no ocurre lo mismo para el componente vertical. Se observó que el tiempo para resolver las ambigüedades, era muy similar en todas las redes y mucho menor que 90 s.

(*Garrido et al,2012*), presentaron los resultados de las pruebas realizadas con soluciones NRTK, postprocesadas y simultáneas, en seis puntos de prueba ubicados en la frontera entre Portugal y la Comunidad Andaluza, al suroeste de la Península Ibérica. El análisis se apoya en dos redes activas GNSS; RENEP en Portugal y RAP en Andalucía, (España), una de carácter nacional y otra regional, pero, con características similares. Al comparar la posición postprocesada, para cada punto de prueba, según la estimación de las dos redes activas analizadas, las discrepancias encontradas en 3D, fueron menores de 2 centímetros. Los resultados del posicionamiento RTK basado en la red, fueron exitosos con un nivel de precisión de 2 cm, en los componentes este y norte y de 4 cm para el componente vertical. Estos resultados también confirman, que la precisión de posicionamiento NRTK, es aproximadamente 2 cm en horizontal y 4 cm en vertical, lo que, puede satisfacer las exigencias de los usuarios de posicionamiento en tiempo real, con precisión de centímetros, incluso en regiones fronterizas que consideran soluciones extrapoladas de NRTK.

En los últimos años, se han realizado numerosos estudios sobre la calidad de los servicios de correcciones diferenciales, ofrecidos por las redes de estaciones permanentes de funcionamiento continuo. El método GPS más utilizado en las aplicaciones topográficas, es el cinemático en tiempo real RTK, esta metodología ofrece ventajas sobre una RTK convencional, en cuanto a, dinamismo, rendimiento y economía de los trabajos topográficos, así como, poder aplicar la tecnología GNSS a un gran número de áreas.

A continuación, se exponen algunos de los trabajos realizados en los últimos años en diferentes áreas de aplicación, utilizando redes geodésicas activas.

Actualización de cartografía: (Colombo, et al 2010), Estas pruebas fueron organizadas y realizadas por la Autoridad de Administración de Tierras y Propiedades del Gobierno de NSW (LPMA), en colaboración con la Universidad de Nueva Gales del Sur, en junio de 2009 y julio de 2010. Las líneas de base desde las estaciones de referencia hasta la aeronave fueron de hasta 1100 km. Las estaciones de referencia de área amplia utilizadas en las pruebas forman parte de CORSnet-NSW, una red de estaciones de referencia que funcionan de manera continua y que opera en el estado de Nueva Gales del Sur. A partir de septiembre de 2010 esta red constaba de 43 estaciones; y el objetivo es alcanzar un total de 70 para el 2012. Todos los receptores en la red recolectaron datos a una velocidad de 1 H z. En el avión se recogieron datos de 2 Hz. Las soluciones se calcularon en post-proceso, a 2 Hz. Para verificar la calidad de las trayectorias de la aeronave determinada por la técnica de área amplia, se compararon con las soluciones habituales de línea de base corta con estaciones de referencia locales instaladas a pocos kilómetros de la trayectoria de vuelo del avión. Finalmente, el modelo de elevación digital (DEM) obtenido a partir de los datos de vuelo de calibración y una trayectoria GNSS de área amplia precisa se comparó con el DEM realizado con el método habitual de línea de base corta. En todos los casos el resultado fue excelente.

Localización y seguimiento de flotas: (Huang, et al, 2011). Con el fin de buscar una solución para la ubicación espacial de un móvil de forma rápida y de alta precisión, mejorar el valor de la aplicación de la información de ubicación GPS en el posicionamiento móvil del vehículo, este artículo ha estudiado el diseño y el método de implementación del sistema de orientación, monitoreo y control del vehículo, combinado con la red de servicios CORS y Mobile GIS. Se ha diseñado la arquitectura del sistema de monitoreo de posicionamiento del vehículo integrado con CORS y Mobile GIS. También ha analizado las características de los datos espaciales y de atributos relacionados con el control de posicionamiento del vehículo, estudió la organización de clasificación de datos y el modelo integrado que utiliza Oracle para el almacenamiento de datos espaciales y de atributos y se centró en el modelo de espacio-tiempo de datos de seguimiento del vehículo. Además, este artículo ha realizado la elaboración del diseño funcional y la implementación del centro de servicios de monitoreo, el terminal móvil y el servidor de comunicación de datos en el sistema de monitoreo de posicionamiento del vehículo. La práctica muestra que la aplicación de la red de servicio CORS y el SIG móvil en el sistema de monitoreo de posicionamiento de vehículos ha mejorado la precisión de

la ubicación espacial de los vehículos en movimiento y ha ayudado a visualizar objetos localizados, lo que también ha verificado la posibilidad de integrar CORS y Mobile GIS para Servicios de localización móvil. Tiene un importante valor teórico y práctico para seguir estudiando el algoritmo, el modelo y la tecnología de análisis de rutas y correlación de mapas en ubicaciones móviles integradas con CORS y GIS.

Agricultura de precisión. (*Zhimin, et al, 2012*). Actualmente, la tecnología de adquisición rápida de información de campo, es uno de los temas más importantes en los campos de investigación de agricultura de precisión internacional, estando aún lejos del desarrollo de otras tecnologías. Las innovaciones tecnológicas, se centran en las nuevas tecnologías de topografía y en los métodos cinemáticos en tiempo real, que son útiles para mejorar las densidades de muestreo y precisión. En primer lugar, se trataron tres aspectos del desarrollo del sistema: adquisición de datos, procesamiento de los mismos e información de gestión, basado en GPS y GIS del Sistema de Información de Gestión de Fertilización de Precisión (PFMIS), para posteriormente, diseñar el marco de PFMIS, que incluye la técnica de adquisición de datos en forma continua. Se dispone de: estaciones de referencia operativas (CORS), métodos de procesamiento de datos en algoritmos de inteligencia y del Sistema de Información de Gestión (MIS) en ArcGIS Engine, lo que permite, satisfacer las necesidades de publicación y consulta de la red para alcanzar una fertilización de precisión.

(*RS Freeland, et al 2012*) La utilización de tecnología cinemática en tiempo real (RTK), para la dirección automática del tractor, requiere la comunicación con una estación de referencia "base". La configuración RTK convencional, consta de, un receptor GPS estacionado en una base de coordenadas conocidas, próxima al tractor itinerante que irá equipado con un receptor móvil. Durante las operaciones de campo, el receptor del tractor recibe datos de la base a través de sus transmisiones de radio. Esta forma de operar, ha sido superada tecnológicamente, con la infraestructura de una red de estaciones de referencia de funcionamiento continuo. El centro de control, crea una estación de referencia (virtual) modelada (VRS) y envía las correcciones al tractor itinerante, que junto con los datos que recibe el móvil, de los satélites en su horizonte visible, calcula su posición. La solución VRS, está matemáticamente optimizada para el móvil y es específica para su ubicación.

Minería: (*Gao Jing-xiang, et al 2009*). El desarrollo de la tecnología GNSS, ha permitido la innovación de la tecnología de monitoreo de deformación, en las técnicas mineras. Esta innovación, se apoya en las estaciones de referencia de operación continua (CORS) y en el modelo preciso de diferencia de altura que se construyó en Yanzhou (Mongolia) para desarrollar esta tecnología. Tomando como referente la minería, CORS propone una técnica de monitoreo de deformación minera en 3D, que permita cubrir grandes áreas. Sobre la base de la tecnología RTK en red, se aplicó la tecnología de monitoreo de hundimientos mineros en pequeñas áreas y sobre la base de la construcción del modelo de diferencia de altura, se propuso el uso de la tecnología GNSS-RTK en el monitoreo de subsidencia. El documento proporciona, acciones concretas en la modernización de la

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “

tecnología de monitoreo GNSS, para su aplicación en las deformaciones producidas por la actividad minera. Se demuestra, por tanto, la viabilidad del uso de CORS para monitoreo preciso en 3D y monitoreo de deformaciones por hundimiento y el uso de GNSS-RTK para monitoreo de hundimiento en zonas locales, de poca extensión. Los resultados muestran que hay un aumento en la resolución temporal y espacial, de la deformación de la mina.

Ingeniería civil: (Lei Wang, et al,2013). La aceleración del proceso de urbanización chino, provoca un rápido desarrollo en la construcción de carreteras. La tecnología GPS básicamente ha reemplazado el método convencional de medición, con nivel, teodolito y estación total. La cinemática en tiempo real (RTK), se ha utilizado ampliamente, para replanteo y mediones, es necesario configurar estaciones base y tener en cuenta que, la precisión de la medición disminuye al aumentar la distancia entre el móvil y la estación base. La distancia efectiva, generalmente es menor de 15 km, por ello, uno de los objetivos en topografía, es encontrar un método de medición que permita aumentar esta distancia efectiva. En los últimos años, con desarrollo de las Estaciones de Referencia de Funcionamiento Continuo (CORS), es posible conseguir este objetivo. El documento muestra como introducir la aplicación CORS en los levantamientos y construcción de carreteras.

A fin de, mejorar la calidad métrica y los servicios ofrecidos por sistemas GNSS, se han instalado numerosas redes GNSS públicas y privadas, que ofrecen servicios de descarga de datos para trabajos en post-proceso y envío de correcciones diferenciales en tiempo real, lo que, permite un posicionamiento preciso. El ámbito de estas redes es: mundial, continental, nacional, regional y local.

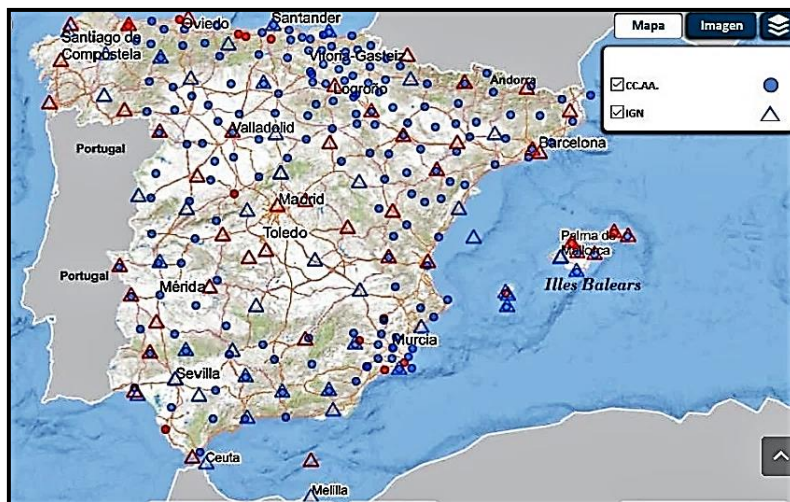


Fig. 23.- Redes geodésicas activas públicas de España

Fuente: <http://redgae.ign.es/>

En la fig.23, podemos observar el número de estaciones de referencia de funcionamiento continuo que se han instalado en los últimos años, pertenecientes a diferentes redes geodésicas activas públicas, del territorio nacional. El círculo simboliza

las estaciones pertenecientes a una red de comunidad autónoma y el triángulo referencia estaciones de la Red Geodésica Nacional (ERGNSS) y el símbolo rojo de una estación indica que ha dejado de transmitir correcciones diferenciales en tiempo real, más de cinco minutos. El Consejo Superior Geográfico, a través de, la Comisión Especializada del Sistema de Referencia acordó, la creación de un portal común para la divulgación de los servicios de estaciones permanentes GNSS de organismos públicos en España, tanto de la Administración Central, como de las Comunidades Autónomas.

© Consejo Superior Geográfico, RedGae, Redes GNSS activas españolas
<http://redgae.ign.es/web/guest/inicio>

3.2.- REDES GEODÉSICAS ACTIVAS

Los principales objetivos de una Red Geodésica Activa o Red RTK son, materializar un marco de referencia único y estable para el territorio definido por la red y proporcionar un posicionamiento de alta precisión a los usuarios que la utilizan. Una red geodésica activa está constituida por cuatro módulos fundamentales: receptores GPS, centro de control, red de transmisión de datos y red de difusión de datos. Estos módulos están relacionados y ha de considerarse en su conjunto para conseguir los objetivos de calidad y de funcionamiento óptimo de la red.

3.2.1.- DISEÑO DE LA RED

El diseño de la red, debe tener en cuenta todos los aspectos que influyen en el funcionamiento de la red, su objetivo es minimizar la distorsión de la señal GNSS y maximizar la calidad de las posiciones calculadas, de acuerdo con los modelos utilizados en el procesamiento de datos GNSS, para obtener precisión de centímetro a sub-centímetro.

Una Red Geodésica Activa, está constituida por un número de receptores GPS de doble frecuencia, que cubren una determinada extensión de terreno. Su principal misión es dar cobertura al territorio al que se quiere dar servicio, para obtener posicionamiento de alta precisión. En principio, la ubicación de estos receptores parece ser una cuestión puramente geométrica y topográfica, sin embargo, también interviene el buen uso de la tecnología GPS, que ha de considerarse, para conseguir un servicio óptimo y de calidad.

El número de receptores, en principio, depende de la extensión y forma del territorio donde se instalará la red. Las estaciones de referencia se distribuyen por la zona de forma que, se puedan modelar los errores dependientes de la distancia, con gran precisión. También, tomaremos en consideración la ubicación geográfica y el nivel de actividad ionosférica de la zona, para decidir la distancia entre estaciones de referencia. La distancia entre receptores, viene determinada por el número de señales disponibles y los algoritmos de procesado, con valores, entre 70-90 km pueden dar alta disponibilidad, siendo los datos recibidos en la estaciones o receptores de referencia son muy diferentes. Por otra parte, el

usuario móvil debe estar dentro de la región definida por la red, aunque se pueden utilizar zonas fuera del perímetro, si la distancia a la estación más cercana es inferior a 10 o 15 km.

La ubicación de las estaciones de referencias, está condicionada por dos aspectos importantes, deben tener un funcionamiento continuo y permanente. La ubicación del sitio debe estar asegurada a largo plazo, para que resulte altamente improbable, cambios de ubicación de la antena por, construcciones planificadas, demolición, etc. La topografía de la zona también influye en la ubicación de las estaciones de referencia, una gran diferencia de altitud entre estaciones produce errores troposféricos diferentes en cada estación. Debe de existir un acuerdo entre el responsable de la ubicación de la estación y el operador de la red y es aconsejable que se encuentre en zona urbana, de esta forma se garantiza el servicio eléctrico y telefónico necesario para el funcionamiento continuo de transmisión y recepción de datos.

3.2.2.- EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES

3.2.2.1.- Receptor

De manera general, la estación de referencia deberá estar equipada con, un receptor GPS, que registra todas las constelaciones posibles, satélites con un ángulo de corte de hasta 0°incluyendo como mínimo todos los satélites GPS. El receptor debe ser bifrecuencia, capaz de registrar mediciones de código y fase. GPS y GLONASS de dos frecuencias, incluyen las señales y códigos: P1, (C1), L1, L2, P2 y (C2). En los nuevos equipos se espera disponer de tres frecuencias. Han de ser capaces de sincronizar el tiempo real de la observación, con el tiempo GPS dentro de ± 1 milisegundo de la segunda época completa. Se recomienda el registro de observaciones Doppler.

Las características más interesantes de los receptores, son:

1. Poder recibir mediciones además de la constelación GPS, de la constelación Glonass y Galileo o que se puedan actualizar fácilmente, mediante firmware.
2. Ser capaz de proporcionar mediciones de la tercera frecuencia en los datos de archivos RINEX, de todas las constelaciones.
1. Debe estar configurado para proporcionar valores de señal a ruido, de todas las señales rastreadas, S1, S2, etc. en los archivos RINEX y con la mayor precisión posible.
2. Debe estar protegido contra fallos de energía, como sobretensiones y disponer de energía de respaldo siempre que sea posible.
3. Debe actualizar el firmware del fabricante, en los 6 meses posteriores a su publicación. Las actualizaciones de firmware se anotarán en el registro de la estación. © Copyright 2016 - 2018- Real observatory of Belgium, <http://www.epncb.oma.be/documentation/guidelines/>

3.2.2.2.- Antena

Hemos de contar con una antena geodésica, con certificado de estabilidad del centro de fase, cables de comunicación con la antena, sensor y suministro de luz. La antena debe ser conocida por IGS y EPN, se le asignará un nombre estándar, se registrará en ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/rcvr_ant.tab. y se incluirá en el archivo de variación del centro de fase de EPN, en la siguiente dirección: http://www.epncb.oma.be/documentation/equipment_calibration/, con valores de calibración absolutos, dependientes de zenith y azimuth hasta el horizonte. La antena debe estar nivelada y orientada al norte verdadero, utilizando su marcador de referencia, ésta debe estar rígida y firmemente sujeta a la parte superior del monumento de la estación. Las excentricidades definidas entre cada antena (este, norte, altura) y el marcador respecto al punto de referencia APR, se incorporarán en la FTP: <ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/antenna.gra>).

Debe ser inspeccionada e informada en el registro de la estación y en los encabezados RINEX, con una precisión de ≤ 1 mm. La excentricidad, de la altura de la antena respecto al marcador, debe ser inferior a 10 m, la excentricidad horizontal, inferior a 5 m. Es deseable que las antenas sean capaces de rastrear nuevas señales de GPS, Glonass y Galileo, incluso aunque el receptor no sea capaz de reconocer estas señales. Se prefieren las calibraciones de antena individuales absolutas, que antes de ser instaladas, deben enviarse a EPN <https://www.epncb.oma.be>

3.2.2.3.- Equipos para Transmisión y Recepción de Datos

Los equipos, han de tener potencia suficiente para realizar comunicaciones amplias y confiables, que permitan la transferencia rápida y segura de datos, preferiblemente a través de internet. Deben disponer de ordenador y router, para conexión a internet y al centro de control de la red, de un Servicio de Correcciones, que enviará las mismas a través de diferentes vías, radio RDS, radio-modem, GSM, GPRS/internet, al mismo tiempo y en varios formatos, así como, la posibilidad de enviar archivos automáticamente vía FTP.

3.2.2.4.- Equipamiento Centro de Control

El centro de control es el cerebro del sistema, se encarga de calcular con los datos ofrecidos por las estaciones de referencia, un modelo de errores que afectan a la señal GNSS en la zona. Después, genera una corrección que es enviada a los usuarios en campo. Gestiona, los protocolos de transmisión que administran y controlan el flujo de datos a través de la red. Otra función importante del centro de control es el examen de calidad de la red, controlando la calidad de los datos, de las estaciones y el control geodésico.

El equipamiento del centro control está formado por, un ordenador que funciona como un servidor con conexión a internet, para realizar sus funciones necesita la instalación de un software, permitiendo monitorizar todas las estaciones, la gestión

remota de los equipos y el control de los sistemas de transmisión de correcciones diferenciales. Es centro, es responsable del almacenamiento de los datos, creación de copias, de gestionar toda la información a los usuarios sobre el estado de la red en tiempo real y de controlar el servicio de descarga FTP.

El software del centro de control realizará las siguientes funciones:

1. Recibir las observaciones de las estaciones de referencia de la red.
2. Analizar y comprobar las posiciones de la red, calcular ambigüedades, análisis de multipath y determinación de errores ionosféricos.
3. Posibilidad de predecir orbitas de los satélites o descargarlas directamente de internet.
4. Generar correcciones en diferentes formatos, que puedan ser enviadas por distintas vías, (RDS, Radio-modem, GSM, GPRS/internet).
5. Gestionar los equipos remotos mediante protocolo TCP/IP.
6. Exportar e importar datos RINEX y almacenamiento de archivos en una base de datos, que pueda ser distribuida por internet.
7. Disponer de un módulo de ajuste de redes, control de observaciones, test de fiabilidad, posibilidad de selección de diferentes modelos troposféricos, ionosféricos y de orbitas para la resolución de la red.
8. Gestionar la información a los usuarios, sobre el estado de la red en tiempo real y controlar el servicio de descarga FTP. © Copyright 2016-2018- Real observatory of Belgiun: <http://www.epncb.oma.be>

3.2.2.5.- Red de Transmisión de Datos

Otro módulo importante de una red (CORS), es la red de transmisión de datos, que será la encargada de hacer llegar, cada segundo, los datos recogidos por las estaciones de referencia, al centro de control para su procesado; el requisito más crítico en este enlace de datos es, la latencia en la comunicación, ésta debe ser baja y estable. El sistema más utilizado para enviar datos GNSS es Internet y para ello, se utilizan diferentes protocolos: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP), que fue desarrollado por la Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) y la Universidad de Dortmund (Alemania), utilizando principios de la tecnología internet radio y el protocolo RTIGS, introducido por el Grupo de trabajo Real-Time IGS, ambos se desarrollaron para difundir datos GNSS en tiempo real a través de internet. (Guidelines for EPN Stations & Operational Centres abril de 2017) © Copyright 2016-2018- Real observatory of Belgiun: <http://www.epncb.oma.be>

3.2.2.6.- Red de Difusión de Datos

La red de difusión de datos, es la encargada de enviar las correcciones diferenciales, desde el centro de control a los usuarios. El desarrollo de las técnicas de comunicación fundamentalmente, la inalámbrica con el acceso a través de internet, hacen que estas sean

las más utilizadas como medio de difusión, en las redes RTK. Entre las redes inalámbricas IP móviles, podemos destacar: GSM (Global System for Mobile communications), GPRS (General Packed Radio Service), y EDGE o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

3.2.3.- MONUMENTACIÓN DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA

El punto o marcador, sobre el que se ha de colocar la estación de referencia debe cumplir con los estándares para un monumento de una red geodésica de primer orden, debe cumplir con los requisitos de: estabilidad, durabilidad, accesibilidad, además de estar completamente documentado. También, debe cumplir con los requisitos siguientes:

1. Debe estar documentado en un archivo de registro, donde se explican todos los datos referidos de la estación. El marcador, debe ser el adecuado para permitir la asignación de un número IERS DOMES tipo M, para indicar que la antena está referenciada a un punto físico, en un monumento o pilar ([http: //itrf.ensg.ign .fr / domes_desc.php](http://itrf.ensg.ign.fr/domes_desc.php)).
2. La obstrucción debe ser mínima, por encima de 5° de elevación, aunque, se aconseja rastrear satélites con ángulo de elevación más menor.
3. La antena debe configurarse para minimizar los errores multipt, colocándola lejos de superficies reflectantes o aplicando una protección pasiva, directamente debajo de la antena (material absorbente de microondas, etc.).
4. La calidad de la recepción de la señal debe verificarse, especialmente con respecto a la interferencia de fuentes de señal externas, como potentes radiotransmisores.
5. Los vínculos locales con otros marcadores en los sitios, deben determinarse en el sistema de coordenadas ITRF, para garantizar precisiones de 1 mm, en las tres dimensiones.
6. La estación, no debe moverse a un monumento diferente a menos que sea absolutamente necesario. Cambiarla, requiere que establecer una nueva estación, con identificación y registro de estación por separado.
7. Cuando se traslada una estación de referencia a otro lugar, es necesario mantener las pruebas en paralelo entre la estación antigua y la nueva, durante tres o más meses.
8. Se recomienda situar al menos tres monumentos más, para realizar pruebas y equipos de operación en paralelo durante las actualizaciones, aunque, se considera más conveniente mantener una estación como la estación principal.
9. Es interesante, la ubicación conjunta con otras técnicas geodésicas, como: SLR, VLBI, DORIS o gravímetros.
10. Se recomienda instrumentación meteorológica de precisión:
 - ✓ Los datos deben ser preparados en archivos RINEX "m".
[http://www.epncb.oma.be/ documentation/formats/rinex.php](http://www.epncb.oma.be/documentation/formats/rinex.php).

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

- ✓ Los datos RINEX 'm' deben transmitirse en el mismo horario que los archivos de observación RINEX.
 - ✓ El intervalo de muestreo de datos debe ser inferior a 60 minutos, se recomienda que sea de 10 minutos.
 - ✓ El sensor de presión, debe tener una precisión de 0.5 hPa.
 - ✓ El sensor de temperatura debe ser mínimo la precisión de 1° Kelvin.
 - ✓ Los efectos de la temperatura en las mediciones de presión, deben minimizarse,
 - ✓ La medición de la altura del instrumento en relación con la marca de la antena GNSS, debe tener una precisión de más de un 1 metro.
 - ✓ Los instrumentos meteorológicos deben calibrarse periódicamente, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para garantizar que se cumplan las especificaciones de precisión anteriores. Las fechas de calibración deben incluirse en el registro de la estación.
11. Los vínculos locales tridimensionales entre, el marcador GNSS, la instrumentación coubicada (DORIS, SLR, VLBI, gravedad, indicador de marea, nivelación, etc.,) y otros monumentos, deben ser revisados con una frecuencia práctica, idealmente cada 2 años, con precisión de 1 mm y reportada en ITRF.
- ✓ Las excentricidades del punto de referencia de la antena, volverán a verificarse durante dichas revisiones.
 - ✓ También, se realizarán revisiones después de incidentes de movimiento, como terremotos.
 - ✓ Los datos de la revisión, especialmente los vínculos con otros marcadores IERS / IGS / EPN, deben reducirse rigurosamente en un marco geocéntrico, relacionado preferiblemente con ITRF y los resultados deben estar disponibles en Formato SINEX definido en: (<https://www.iers.org/iers/EN/Organization/AnalysisCoordinator/SinexFormat/sinex.html>), incluida la información de varianza-covarianza completa.
 - ✓ Se conservarán las notas de las revisiones y los resultados intermedios de los enlaces 3D, que serán puestos a disposición del público. (Procedure for becoming an EPN station, 2017) © Copyright IGS 2019 <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202094816-Monumentation-Recommendations>

Una vez, elegida la ubicación de las estaciones de referencia, es necesario realizar una serie de pruebas para comprobar la calidad de los datos recogidos. Estas pruebas consisten en, situar la instrumentación a una distancia menor de 5 m, de la posición definitiva de la estación de referencia, colocarla con una estabilidad que garantice la adquisición de datos con precisión de 1cm, realizar mediciones de la antena varias veces, al inicio y al final de la observación y toma de datos continuada durante 48 horas, a ser posible con el mismo equipo, que se instalará en la estación con un intervalo de grabación de 1 s y ángulo de elevación de 0°.

Además, de los datos de observación en ficheros RINEX, hay que realizar una reseña de la observación, indicando: fecha, hora de inicio y final de la observación, características del equipo utilizado, altura media de la antena y fotografías de la instalación tomadas desde los cuatro puntos cardinales.

Para la realización de este análisis, se toman como base, las normas dictadas por redes internacionales, Servicio Internacional de GNSS (IGS), EUREF. Los parámetros analizados, responden a los relacionados con la ubicación de la estación: presencia de obstáculos en el horizonte de las estaciones, efectos de multipath en la señal de GPS, intensidad de la señal recibida, relación señal / ruido, número de observaciones obtenidas y estabilidad de la posición de navegación.

Para evaluar estos parámetros, se utilizan diferentes softwares, p. ej. el software gratuito QC2SKY (M. Roggero, 2004). En concreto, para estudiar el efecto multipath y las pérdidas de ciclo en cada frecuencia L1 y L2, se utiliza el software TEQC (Translate/Quality Check) de UNAVCO (University NAVSTAR Consortium).

Según IGS, el número de observaciones esperadas en una estación de referencia, durante un tiempo de 24 horas, con horizonte despejado y con grabación de datos a intervalos de 30" es de 20000. Otro parámetro, a tener en cuenta es el efecto multipath, en las frecuencias L1 y L2; trabajando con L1 el valor de RMS MP1, para el 50% de las estaciones IGS, es inferior a 0,4 m. y para el 30% inferior a 0,5 m. En el caso de la señal L2, los valores respectivos son 0.6 y 0,75 m. También hemos de considerar, las pérdidas de ciclo ($\times 1000$); si se compara con el número total de observaciones, tenemos que, para más de la mitad de las estaciones IGS, estos valores son menores de 5 y menores de 10 para más de 2/3 de las mismas. (Berrocso, M. et al (2007).

3.2.4.- MARCO DE REFERENCIA

Las redes geodésicas activas, deben materializar un marco de referencia único y estable para todo el territorio que define la red. Este marco de referencia, es importante en el funcionamiento de una red geodésica activa; para proporcionar servicios de post-proceso y tiempo real, la red realiza y propaga el marco de referencia a los usuarios.

Un marco de referencia terrestre, proporciona un conjunto de coordenadas de puntos ubicados en la superficie de la Tierra. Se puede emplear, para medir la tectónica de placas, el hundimiento regional o para representar la Tierra, cuando se mide su rotación en el espacio. Esta rotación, se mide respecto a un marco unido a objetos estelares, llamado marco de referencia celeste. El Servicio Internacional de Sistemas de Referencia y Rotación de la Tierra IERS (Internacional Earth Rotation Service), se creó en 1988 para, establecer, mantener y difundir el Internacional Terrestrial Reference System (ITRS). El IERS, proporciona la definición del Marco de Referencia Celestial (ICRF) y el CTRS (Convencional Terrestrial Reference System) sobre la base de ITRS. Los Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP), conectan estos dos marcos y proporcionan una referencia

común para comparar observaciones y resultados de diferentes ubicaciones. Hoy día, se utilizan cuatro técnicas geodésicas principales, para calcular coordenadas precisas: GPS, VLBI, SLR y DORIS. Dado que la red de rastreo, equipada con los instrumentos de esas técnicas, evoluciona y el período de datos disponibles aumenta con el tiempo, el ITRF se actualiza constantemente. A partir de 1988, se establecieron 11 realizaciones de la ITRS, la última, la ITRF2005. Todas, incluyen posiciones de estación, velocidades y modelan los cambios de la corteza de la Tierra, por ello, pueden utilizarse para comparar observaciones de diferentes épocas. Altamimi et al. (2001).

Son varias, las soluciones ITRS publicadas, la primera fue la ITRS89 y la última de las que han sido utilizadas hasta ahora, fue la ITRS2000. Recientemente, se ha publicado ITRS2005, que empezará a utilizarse en futuros trabajos geodésicos.

EUREF (European Referente Frame), es la Subcomisión para Europa, que se corresponde con la Comisión de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG).

"Fue creada en 1987 como sucesora de subcomisión RETRIG con ocasión de la Asamblea General de la IUGG celebrada ese año en Vancouver. En gran medida, las actividades de EUREF han sido el establecimiento y mantenimiento de ETRS89 (European Terrestrial Reference System) y EVRS (European Vertical Reference System). ETRS89 proporciona un posicionamiento tridimensional con precisión de milímetros (EUREF, 2004) mientras que EVRS tiene la misma función para las alturas. El sistema ETRS89 está alineado con ITRS89 y ambos están referidos a la época 1989.0, acuerdo tomado en la reunión de EUREF en Florencia (1990) Consejo superior geográfico " Necesidad de un nuevo datum" versión 1. 2007 se puede encontrar en la Web del Instituto Geográfico Nacional: <https://www.ign.es>

El real Decreto 1071 de 2007" adopta el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. En el caso de las Islas Canarias, se adopta el sistema REGCAN95. Ambos sistemas tienen asociado el elipsoide GRS80 y están materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE y sus densificaciones."

Desde el 15 de marzo de 2018, se comenzó a cambiar las coordenadas de todas las estaciones GNSS del territorio nacional, excepto Canarias. Su objetivo es homogeneizar las diferentes soluciones, calculadas en épocas diferentes, de las Redes Activas de las distintas Administraciones Públicas. Esta actualización, está motivada por el gran número de estaciones GNSS instaladas en los últimos años, tanto por el IGN, como por las administraciones autonómicas, así como, por las últimas recomendaciones europeas provenientes de EUREF, sobre la utilización del ETRS89 y la recomendación del uso de ETRF2000. Para este fin, se creó el Subgrupo de Cálculo ETRF2000, integrado por: IGN, ICGC, ITACyL e IECA. La época de referencia, para referir las coordenadas es 2017.0.

A partir de estas coordenadas, IGB08, época 2017.0, se ha procedido a calcular las ETRF2000, siguiendo los parámetros de C. Boucher y Z. Altamimi. Estas coordenadas, son las que el Subgrupo, recomienda utilizar por todas las Administraciones Públicas, al objeto de disponer de un Marco ETRF2000, densificado, homogéneo e independiente de la Red. Esta información se puede consultar en la página Web de la Red Andaluza de Posicionamiento en la siguiente dirección : <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/avisos1> y en el documento publicado por el Instituto Geográfico Nacional en la siguiente dirección : <http://www.ideandalucia.es/portal/portal/delegate/content/64f315a6-78e4-44a0-b2e9-11a33f70929e>

3.2.4.1.- Materialización del Marco de Referencia

El marco de referencia, queda materializado por el cálculo de las coordenadas absolutas de las estaciones que configuran la red. Una vez determinadas las observaciones mediante los archivos RINEX, se realiza un ajuste de la red, utilizando para el cálculo estaciones de referencia de orden superior. Para este proceso, se dispone de softwares específicos, p. ej. Bernese 5.0, desarrollado por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna (Suiza). En la tabla 9, se observan las opciones de configuración del IGS y de procesamiento, según la EUREF.

Las observaciones GPS en una red de estaciones permanentes, se realizan durante 24 horas, a intervalos de un segundo y con un ángulo de elevación de 0°, sin embargo, para el procesamiento, se hace un remuestreo a 30 segundos, con un ángulo de elevación de 10°.

Tabla 9.- Configuración IGS y procesamiento EUREF. Fuente: autor

Fijación de la Ambigüedad	En la solución final
Corrección Fase de Antena	IGS Archivos Variación Centro de Fase Absoluta
Ángulo de Corte	10°
Tasa de Muestreo	180 seg. para Estimación del Parámetro Final
Órbitas	IGS Órbita Final
Parámetros de Orientación Terrestre	Productos IGS Finales
RMS en Ficheros SINEX	En la Solución Final
Carga de Marea Oceánica	Desde Observatorio Espacial Onsala
Función de Mapeo	Modelo NIELL
Parámetros de la Troposfera	Cada Hora

Mediante la aplicación de mínimos cuadrados, se obtiene, una solución diaria para cada estación. El proceso de cálculo y ajuste, se realiza semanalmente, lo que permite obtener, una solución semanal para cada estación de la red. Finalmente, se fijan al menos tres estaciones de referencia permanentes, de orden superior, en el marco de referencia

IGS05 <http://igsceb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2006/msg00170.htm>I. Las coordenadas obtenidas, se transforman en ITRF2005 (Ferland, R. (2006b). IGSMail -5547, finalmente se transforman en ETRF2005 (Boucher, C., Altamimi, Z., 2008). Las coordenadas de las estaciones, se establecen para cada época, de esta manera se materializa el marco de referencia, que es difundido por la red. Berrocoso, M., et al, (2006). Marcelino V, et al (2012).

3.2.5.- DIFERENTES MÉTODOS DE GENERACIÓN DE CORRECCIONES DE REDES RTK

El objetivo principal de una red de estaciones de funcionamiento continuo, es proporcionar una posición de alta precisión; para conseguir este objetivo, es necesario eliminar o reducir los errores de medición GPS. Seeber (2003), clasifica las fuentes de error en dos grupos, errores dependientes de la distancia (Órbitas de los satélites, ionoféricos y troposféricos) y errores dependientes de la estación (variación del centro de fase de la antena y multipath).

Los métodos de generación de correcciones, son los encargados de eliminar o reducir los errores que dependen de la distancia. Están influenciados, por el método de interpolación utilizado para la posición del usuario. Una de las ventajas de su utilización es, permitir crear modelos de corrección para el territorio que define la red. Actualmente, existen diferentes métodos para generar correcciones de errores que dependen de la distancia, que son interpolados para la posición del usuario, entre ellos citamos: Flächen Korrektur Parameter (FKP) parámetros de corrección de área, (Wübbena et al 2001 y Jansen, 2009), Correcciones Master Auxiliary Concept (MAC) concepto master auxiliar, (Euler et al 2001; Zebhauser et al., 2002; Brown et al., 2005b), Virtual Reference Station (VRS), (Landau et al, 2002; Jansen, 2009) e Individualized Master-Auxiliary (I-MAX) (Brown et al. 2005; Leica, 2005). De ellos, los más utilizados actualmente en la mayoría de las redes geodésicas activas del mundo son, Virtual Referencia Estación (VRS) y Concepto MAC.

3.2.5.1.- Estación de Referencia Virtual

El concepto, Virtual Referencia Estación fue desarrollado por la empresa Terrasat y presentado por Wanninger en 1997. Es el primer método utilizado para generar correcciones en redes permanentes de funcionamiento continuo, su finalidad principal es, eliminar o reducir los errores sistemáticos de las mediciones GPS. Landau et al, (2002) describen el concepto VRS en el artículo "Virtual Reference Station Systems" publicado en el *Journal of Global Positioning Systems* (2002) Vol. 1, No. 2: 137-143.

Las estaciones de referencia, recogen los datos enviados por los satélites y envían la información al centro de control de la red. Esta información, se utiliza para crear una Estación de Referencia Virtual, situada a pocos metros de cualquier usuario móvil. El móvil interpreta y utiliza los datos, como si, procediesen de una estación de referencia real.

Los principios para implantar una estación de referencia virtual son los siguientes:

En primer lugar, se necesita una red de, al menos tres estaciones permanentes, que estén conectadas al centro de control. Las estaciones, envían datos al servidor de red que ejecuta un software específico y realiza: cálculo de correcciones, tareas de control de datos, almacenamiento de los mismos, crea un modelo de correcciones y se fijan las ambigüedades. El receptor del usuario móvil, envía su posición aproximada a través de un enlace de datos, como teléfono móvil, GSM y envía una cadena de posición NMEA estándar llamada GGA en un formato disponible en la mayoría de los receptores.

El centro de control acepta la posición y genera la estación de referencia virtual, que trabaja como una RTK convencional y utiliza esta posición para enviar correcciones al equipo del usuario móvil.

Entre las ventajas del método de generación de correcciones VRS están, la mejora en la inicialización, precisión, reducción de la inversión para los usuarios, reducción de los errores sistemáticos (ionosfera, troposfera), utilización del mismo sistema de referencia y eliminación de la base de referencia.

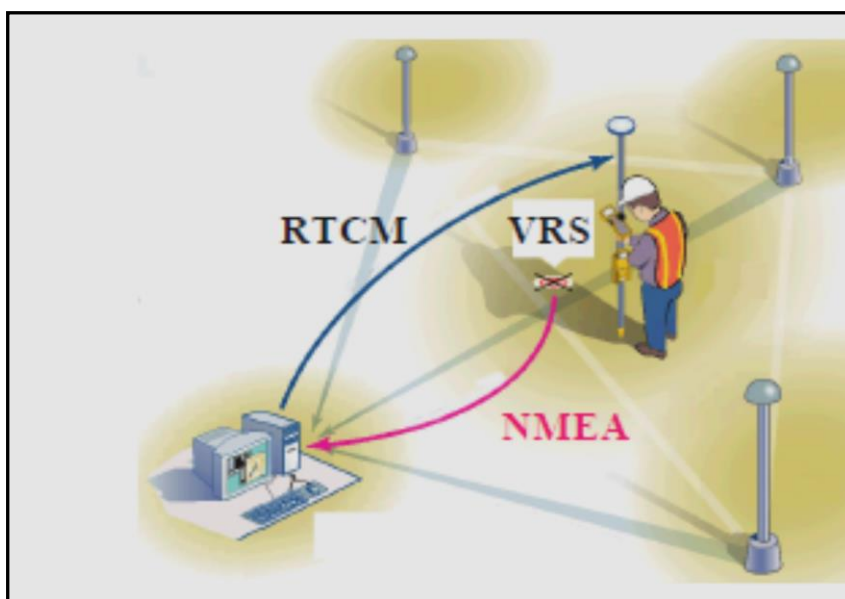


Fig. 24.- El servidor de red transmite el flujo de corrección RTCM para la posición VRS. Fuente: Landau et al, (2002).

Entre los inconvenientes destacamos que, es un método no estándar, utiliza algoritmos no publicados, requiere comunicaciones bidireccionales (conexión inalámbrica a internet o telefonía móvil, GSM, GPRS, UTMS, etc.), las correcciones están optimizadas para la posición inicial, la estación de referencia no es real, la línea base entre el receptor móvil y la referencia no puede trazarse, ni repetirse.

3.2.5.2 . - Flächen Korrektur Parameter (FKP)

El método FKP "Parámetros de Corrección de Planos", posterior al VRS, surgió en Alemania, creado por la empresa GEO++. Se basa en, el modelo espacial del estado (SSM), se compone de datos GPS observados y analizados a través de una Red Estaciones de Referencia de Funcionamiento Continuo. Esta metodología, aplica el modelo de errores de la zona de trabajo, realizando una interpolación lineal de los mismos. Utiliza las estaciones de referencia como puntos, donde los errores son conocidos y calcula los parámetros del plano interpolador, que son enviados al móvil para determinar las correcciones por interpolación para su área de trabajo. Estas correcciones, se relacionan con una estación de referencia real, lo que, permite la repetibilidad y trazabilidad. El formato de transmisión RTCM 2.3, utiliza el mensaje 59 (reservado a formatos propietarios) para transmitir los parámetros del plano de interpolación. No cuenta, por lo tanto, con un formato reconocido como estándar de transmisión, el carácter de la comunicación es unidireccional y el receptor con la información recibida calcula su posición.

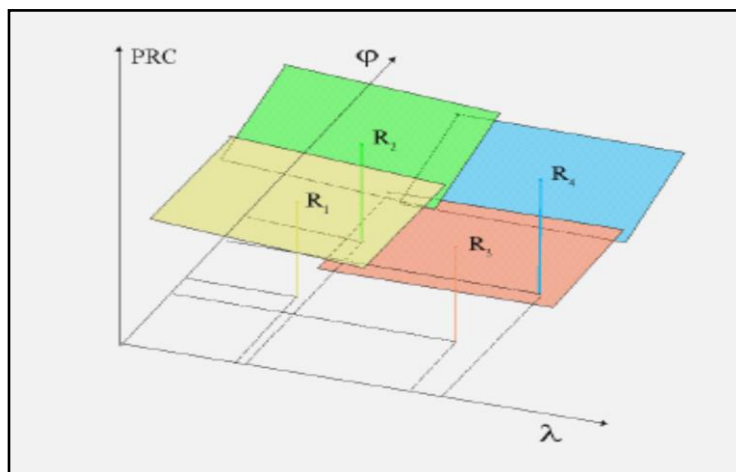


Fig. 25.- Planos FKP lineales para cuatro estaciones de referencia.
Fuente: Wübbena et al (2001)

Entre los inconvenientes del método FKP indicamos que, se trata, de un método no estándar, que utiliza algoritmos no publicados, el servidor calcula la solución de red para eliminar los errores que dependen de la distancia, pero no optimiza esta solución para el móvil lo que podría limitar la solución RTK.

3.2.5.3.- Concepto MAC

Este concepto fue introducido por (Euler et al, 2001). Trabajos posteriores ponen de manifiesto que el método MAC, para generar correcciones utilizando una red estaciones de referencia (CORS), ofrece soluciones de alta calidad (Euler et al., 2002; 2003). Antes de la aparición de este concepto, los métodos de generación de correcciones existentes eran FKP y VRS. La necesidad de seleccionar los FKP correctos (óptimos) para un rover

que pueda interpolar sus correcciones de medición, o la dependencia de VRS de comunicaciones bidireccionales complejas a través de redes de tamaño medio, con restricción del número de usuarios, son dos ejemplos de los inconvenientes de estos métodos de corrección.

El concepto MAC, se considera una evolución del FKP y proporciona al equipo móvil los datos necesarios para calcular las correcciones de su posición de forma autónoma. La característica más importante, en cuanto a funcionalidad, es el software de procesamiento de red, en la determinación de ambigüedades enteras, entre las estaciones de referencia que conforman la red. La determinación de ambigüedades es fundamental, éstas se descomponen en una parte inicial, desconocida en el momento de iniciar el GPS, y otra parte variable. Si se consigue eliminar la parte inicial, cualquier receptor de campo puede fijar sus dobles diferencias, respecto a cualquier estación de referencia de la red. Es lo que se denomina nivel común de ambigüedades. (Brown et al., 2005).

El software de procesamiento, reduce las ambigüedades de fase de las estaciones de referencia de la red a un nivel común, lo que permite, determinar los errores dispersivos y no dispersivos para cada pareja de satélite – receptor y para cada frecuencia. Con esta información se generan las correcciones para formar los mensajes de red. Una de las estaciones de referencia, se considera como la estación máster y transmite al móvil sus observaciones completas a través de RTCM 3.0 mensajes 1003-1004. El resto de las estaciones denominadas auxiliares, transmiten correcciones obtenidas por simples diferencias entre estaciones a través de RTCM 3.0 mensaje 10017.

El equipo móvil con la información recibida de la red de estaciones de referencia, determina los errores dispersivos y no dispersivos para su localización, resuelve ambigüedades y determina su posición. Por razones de funcionalidad y operación óptima del concepto MAC, en relación al procesamiento de los datos y difusión de las correcciones, la red se divide en diferentes grupos o subredes, que son procesadas para conseguir el nivel común de ambigüedad. Una celda, está constituida por al menos, tres estaciones de un grupo, de las que una será la estación maestra y el resto, estaciones auxiliares. Fig.26.

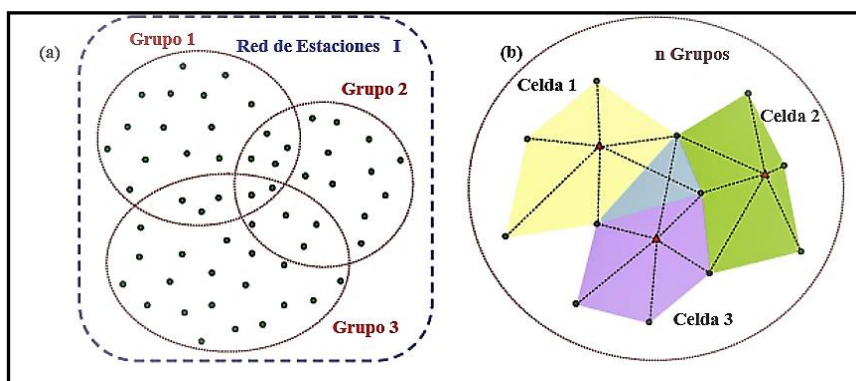


Fig. 26.- Subredes y celdas utilizadas por el concepto MAC. Cada rover utiliza una celda adecuada según su ubicación. Fuente: Modificada de (Brown et al., 2006).

El formato en el que se envían las correcciones es compacto y de mayor eficiencia. Para reducir el volumen de datos se envían las correcciones y coordenadas completas, sólo de la estación maestra y se separan los errores dispersivos y no dispersivos, lo que hace bajar el ancho de banda. El usuario puede utilizar el mensaje en comunicación unidireccional o bidireccional.

3.2.5.3.1.- Correcciones Maestro-Auxiliares (MAX)

Las correcciones MAX utilizan la filosofía del método MAC, considerándose como, la solución comercial del método MAC. Las correcciones de la red, son recibidas por el móvil, que realiza los cálculos de interpolación y decide la solución final. Sólo está disponible para usuarios que puedan utilizar en su equipo mensajes RTCM versión 3.0., el software que controla la red es GPSpider de Leica Geosystems. Se hace una distinción entre broadcast-MAX y auto-MAX, dependiendo de la capacidad de comunicación del receptor GNSS del usuario (Brown y Keenan, 2005; Brown et al., 2006). Broadcast-MAX es aplicable con radio y otras comunicaciones de carácter unidireccional. El funcionamiento de las correcciones MAX se muestra en la Fig. 27

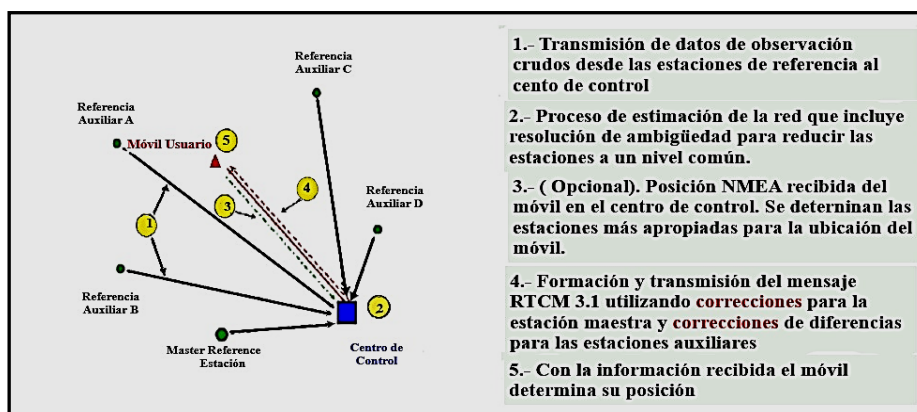


Fig. 27.- Funcionamiento de concepto MAC, correcciones MAX.

Fuente: Modificado Volker Janssen 2009.

Las ventajas de las correcciones MAX son:

1. El equipo móvil, decide la solución final, puede utilizar interpolación de red simple (FKP) o de forma más rigurosa, utilizando múltiples líneas auxiliares.
2. Con datos de corrección MAX, se reconstruyen las ambigüedades para el equipo móvil.
3. La comisión 104 RTCM, reconoce a MAX como formato oficial de corrección de red estándar. RTCM 3.1.
4. Es un método estándar, sus algoritmos están publicados.
5. Se pueden trazar las líneas bases respecto a una referencia real.
6. Las medidas son trazables y repetibles.
7. El carácter de la comunicación puede ser unidireccional o bidireccional.

3.2.5.3.2.- Correcciones I-MAX

Las correcciones I-MAX, se utilizan para receptores que no interpretan los mensajes de red en formato RTCM 3.1. Son similares a las correcciones VRS, el carácter de la comunicación es bidireccional, necesita que el móvil envíe su posición aproximada al servidor de red. Es un método no estándar, utiliza algoritmos propietarios, al no estar publicados los que generan las correcciones de red. También, son similares a las correcciones MAX, pero en este caso, el servidor de red calcula las correcciones para el móvil y se simulan desde la estación maestra. Esta corrección, limita el uso de datos de los satélites que pueda utilizar el móvil, sin embargo, a diferencia de las correcciones VRS, las mediadas son trazables y repetibles, al utilizar una estación física, no virtual. En la figura 28, se muestra el funcionamiento de las correcciones I-Max.

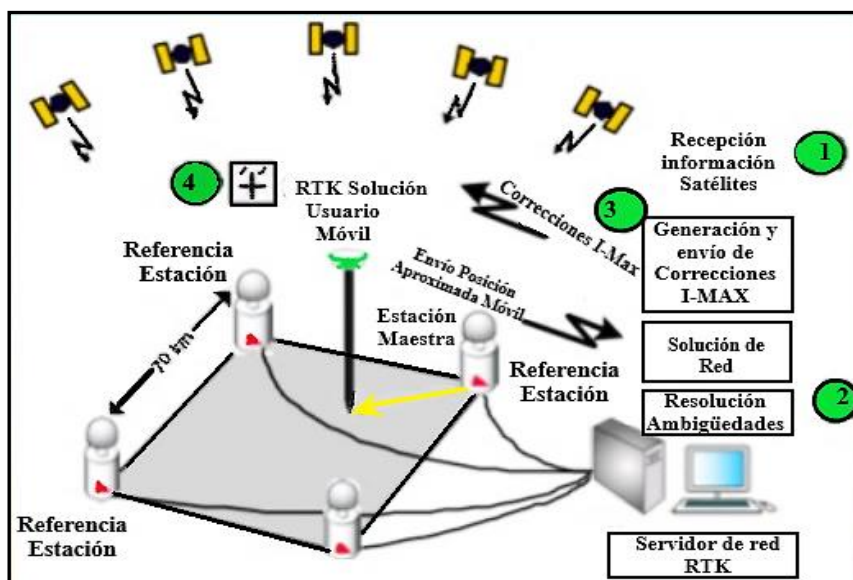


Fig. 28.- Correcciones I-MAX. Fuente: modificada de Leica

3.3.- PRINCIPALES REDES GEODÉSICAS ACTIVAS

Durante las últimas décadas, se han instalado gran número de redes geodésicas activas por todo el mundo, tanto públicas como privadas. El ámbito de estas redes puede ser mundial Red International GNSS Service (IGS), continental Eufref Permanent Network en Europa, nacional ERGNSS en España o regional Red Andaluza de Posicionamiento (RAP) en la Comunidad Andaluza. En este punto, se exponen las características principales de estas redes, comenzando por las de mayor rango.

3.3.1.- LA RED INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS)

IGS es la primera Red Geodésica Activa de carácter mundial, orden cero y clase A de observación continua y en 1994, se estableció oficialmente como un servicio de la Asociación Internacional de Geodesia (IGA). IGS, opera como una confederación

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

voluntaria, no comercial, con unas 300 instituciones en todo el mundo, autogobernada por sus miembros, administrada por la Oficina Central y bajo la guía de políticas de la Junta de Gobierno. Cada organización participante, contribuye con sus propios recursos, no hay una fuente central de financiamiento. La estructura principal de IGS está formada por: oficina central, red global de estaciones de referencia GNSS de funcionamiento continuo, una serie de centros de datos y análisis y diferentes grupos de trabajo que ponen en marcha proyectos pilotos y actividades para conseguir productos de alta calidad.

IGS es una red global, con más de 500 estaciones de calidad geodésica permanentes y en funcionamiento continuo. Estas estaciones rastrean señales GPS, GLONASS y lo harán de las futuras constelaciones, Galileo, BeiDou, Sistema de satélites Quasi- Zenith (QZSS), Sistema de navegación regional por satélite de la India (IRNSS), conocido como (NavIC) y de sistemas de aumentación basados en el espacio (SBAS).

IGS lleva trabajando 25 años y se ha convertido en el organismo que establece los estándares de calidad de todos los componentes que necesitan utilizar los sistemas de navegación por satélite, como la instrumentación, el diseño de redes atendiendo a su geometría, además de otros aspectos que están relacionados con el buen uso de la tecnología GNSS. También se ocupan de la realización del marco de referencia mundial ITRF del Servicio Internacional de Sistemas de Referencia y Rotación de la Tierra (IERS), creación de formatos estándar para transmisión de correcciones diferenciales y ficheros de intercambio RINEX, calibración de antenas, confección mapas globales de la ionosfera a partir de los mapas TEC, rastreo y análisis de las señales GNSS disponibles, incluidas las de BeiDou, Galileo y QZSS, además de GPS y GLONASS y de mejorar la precisión y la facilidad de uso de las estimaciones de la troposfera derivadas del GNSS. Estos elementos hay que considerarlos, para alcanzar el objetivo de minimizar la distorsión de la señal GNSS y maximizar la calidad de las posiciones calculadas, de acuerdo, con los modelos utilizados en el procesamiento de datos GNSS, obtener un funcionamiento óptimo y ofrecer a los usuarios productos de alta calidad.

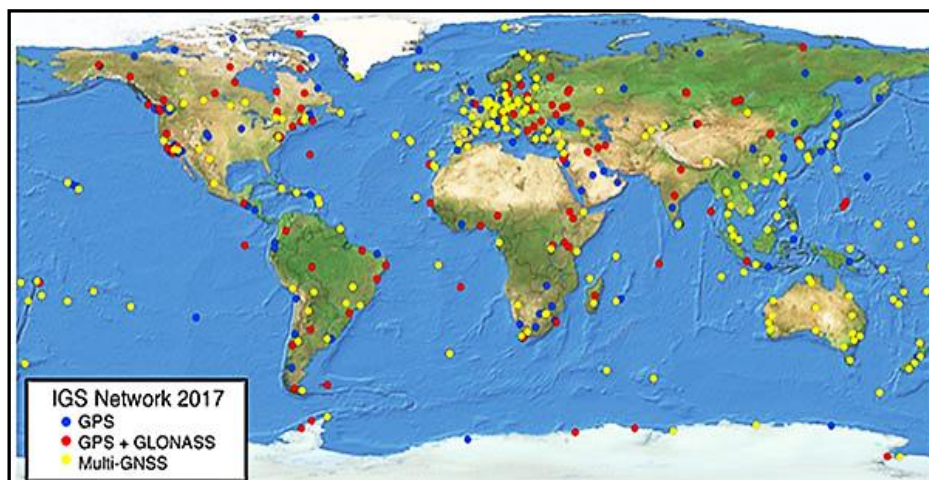


Fig. 29.- Estaciones Permanentes del la Red Internacional GNSS Sevice.
Fuente: IGS

En la fig. 30, cada color representa la solución individual de diferentes centros de análisis, comparado con la media ponderada. COD (Centro para la Determinación de Órbitas en Europa), EMR Recursos Naturales de Canadá (anteriormente Energía, Minas y Recursos de Canadá), ESA Agencia Espacial Europea, GFZ GeoForschungsZentrum (Centro de Investigación Alemán para Geociencias), GRG Centre National d'Etudes Spatiales (Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale), JPL Laboratorio de Propulsión a Chorro, MIT Instituto de Tecnología de Massachusetts, NGS Encuesta Geodésica Nacional, SIO Scripps Institution of Oceanography, IGR producto rápido IGS.

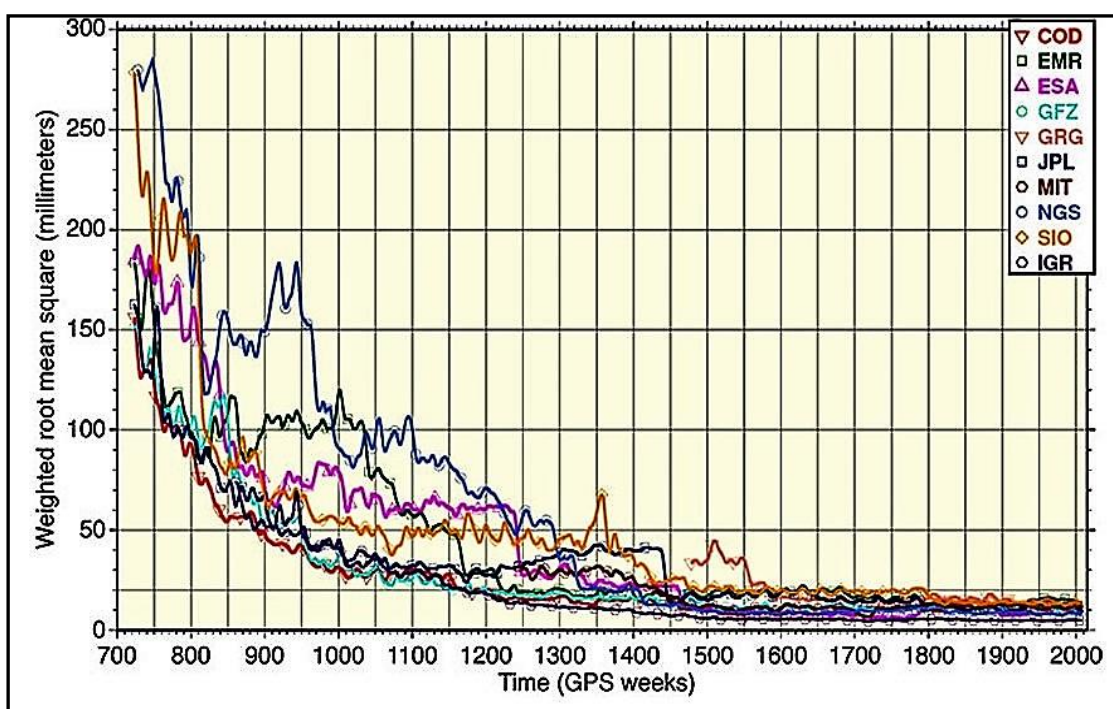


Fig. 30.- Evolución de la solución final de orbitas de satélites GPS en los últimos 25 años.

Fuente: T. Herring, MIT y M. Moore, Geoscience Australia

Los productos IGS se utilizan con las tecnologías GNSS en una gran variedad de aplicaciones científicas: monitoreo de deformaciones de la corteza terrestre, rotación de la tierra, determinación de las variaciones del nivel del mar, calculo de órbitas precisas de los satélites, errores de reloj de satélites, estaciones, así como, para la determinación de errores ionosféricos y troposféricos. También, son utilizados por los usuarios de Geomática y Topografía, que los aplican en: construcción, agricultura, minería, transporte, control de flotas etc.

El proceso para la obtención de productos IGS comienza con la red de estaciones de funcionamiento continuo, los centros de control operacionales, recopilan la información, que es enviada a los centros de datos regionales y globales, donde se comparan y combinan para convertirlos en productos IGS. Los productos de posición, órbita y reloj IGS, se crean en diferentes versiones, ultrarrápidas, rápidas, finales y reprocesadas para cada centro de análisis.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Tabla 10.- Características de calidad de servicio para las posiciones y velocidades de la estación de seguimiento. (Datos IGS)

Geocentric coordinates of IGS tracking stations		Sample interval	Accuracy	Latency	Updates	Availability
Final positions	Horizontal	Weekly	3 mm	11-17 days	Weekly, every Wednesday	99%
	Vertical		6 mm			
Final velocities	Horizontal	Weekly	2 mm/yr	11-17 days	Weekly, every Wednesday	99%
	Vertical		3 mm/yr			

Tabla 11.- Características de calidad de servicio para los productos de órbita y reloj IGS, relacionados con las órbitas satelitales GPS y GLONASS, relojes satelitales (sat.) y de estación (stn.), a partir de 2017. (Datos: IGS).

GPS satellite ephemerides / satellite and station clocks		Sample interval	Accuracy	Latency	Updates	Availability
Broadcast (for comparison)	Orbits	1 s	~100 cm	Real time	Continuous	99.99%
	Sat. clocks		-5 ns RMS; -2.5 ns Sdev			
Ultra-rapid (predicted half)	Orbits	15 min	-5 cm	Predicted	4 x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	95%
	Sat. clocks		-3 ns RMS; -1.5 Sdev			
Ultra-rapid (observed half)	Orbits	15 min	-3 cm	3-9 hours	4 x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	95%
	Sat. clocks		-150 ps RMS; -50 ps Sdev			
Rapid	Orbits	15 min	~2.5 cm	17-41 hours	daily, at 17 UTC	95%
	Sat. & stn. clocks	5 min	-75 ps RMS; -25 ps Sdev			
Final	Orbits	15 min	~2 cm	12-18 days	Weekly, every Thursday	99%
	Sat. & stn. clocks	Sat.: 30 s; stn.: 5 min	-75 ps RMS; -20 ps Sdev			
Real time	Orbits	5-60 s	~5 cm	25 seconds	Continuous	95%
	Sat. clocks	5 s	-300 ps RMS; -120 ps Sdev			
GLONASS satellite ephemerides		Sample interval	Accuracy	Latency	Updates	Availability
Final		15 min	~3 cm	12-18 days	Weekly, every Thursday	

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Tabla 12.- Características de calidad de servicio para parámetros de rotación de la Tierra: coordenadas de movimiento polar, tasas de cambio y duración del día (μas = microarcsegundo). (Datos: IGS)

Earth rotation parameters		Sample interval	Accuracy	Latency	Updates	Availability
Ultra-rapid (predicted half)	Polar motion	Daily integrations at 00, 06, 12, 18 UTC	-200 μas	Real time	4 x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	99%
	Polar motion rate		-300 $\mu\text{as/day}$			
	Length-of-day		-50 μs			
Ultra-rapid (observed half)	Polar motion	Daily integrations at 00, 06, 12, 18 UTC	-50 μas	3-9 hours	4x daily, at 03, 09, 15, 21 UTC	99%
	Polar motion rate		-250 $\mu\text{as/day}$			
	Length-of-day		-10 μs			
Rapid	Polar motion	Daily integrations at 12 UTC	-40 μas	17-41 hours	Daily at 17 UTC	99%
	Polar motion rate		-200 $\mu\text{as/day}$			
	Length-of-day		-10 μs			
Final	Polar motion	Daily integrations at 12 UTC	-30 μas	-11-17 days	Weekly, every Wednesday	99%
	Polar motion rate		-150 $\mu\text{as/day}$			
	Length-of-day		-10 μs			

Tabla 13.- Características de la calidad de servicio para los parámetros atmosféricos: retardo y gradientes del trayecto cenital troposférico y cuadrículas globales del contenido total de electrones. (Datos: IGS) <http://www.igs.org/products>

Atmospheric parameters	Sample Interval	Accuracy	Latency	Updates	Availability
IGS final tropospheric delay: zenith path delay (ZPD) plus north, east gradients	5 min	-4 mm for ZPD	- 3 weeks	Daily	99%
Ionosphere TEC grid	2 hours; 5 deg (Lon.) x 2.5 deg (Lat.)	2-8 TECU	~11 days	Weekly	99%
Rapid ionosphere TEC grid	2 hours; 5 deg (Lon.) x 2.5 deg (Lat.)	2-9 TECU	<24 hours	Daily	95%

3.3.2.- LA RED CONTINENTAL. EUREF

EUREF (Permanent GNSS Network), es una Red Geodésica Activa de carácter continental, orden cero, clase A y observación continua. La red opera bajo la dirección de la Subcomisión Regional de Marcos de Referencia de IAG (Asociación Internacional de Geodesia). El objetivo principal de la EPN es, proporcionar acceso al Sistema de Referencia Terrestre Europeo 89 (ETRS89), de coordenadas estándar GNSS preciso en toda Europa. Respaldado por Euro Geographics y por la Directiva INSPIRE 2007/2 / EC, ETRS89 constituye la columna vertebral de los datos de geolocalización en el territorio europeo, tanto a nivel nacional como internacional.

El proceso que realiza la EPN comienza con la red de estaciones de funcionamiento continuo, formada por más de 200 estaciones permanentes, distribuidas por todo el Continente Europeo. Fig 31.

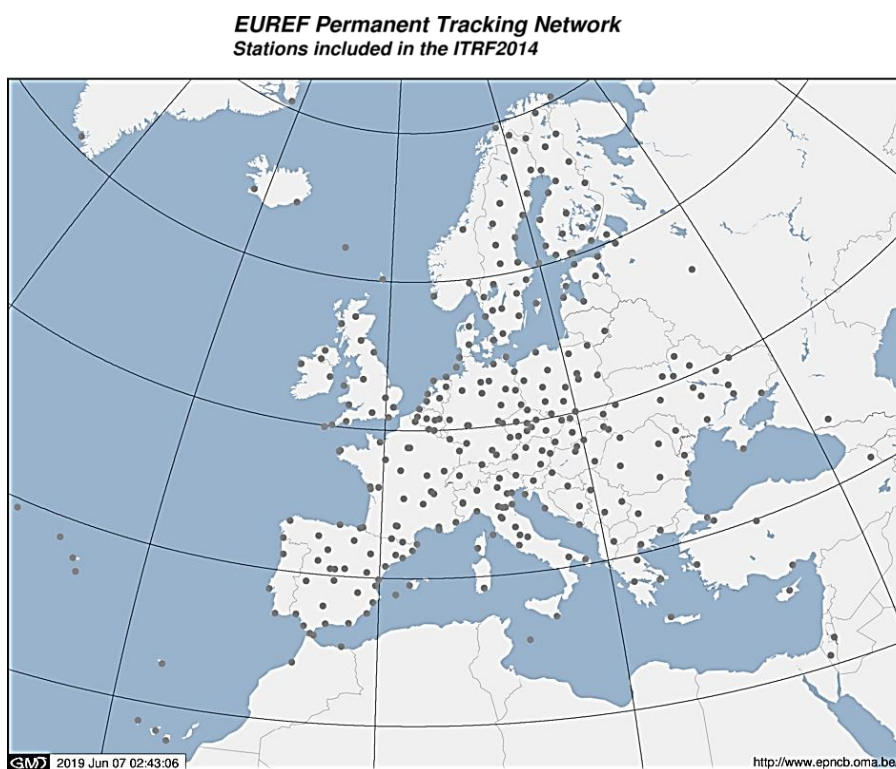


Fig. 31.- Estaciones de seguimiento de la EPN incluidas en ITRF2014.

Fuente: <http://www.epncb.oma.be>

Las estaciones están constituidas por receptores y antenas geodésicas GNSS (Sistemas de navegación por satélite globales) que observan permanentemente las señales de GNSS y se instalan en marcadores geodésicos estables. Son operadas por agencias de investigación, universidades etc. de toda Europa, que se comprometen a operar sus estaciones de acuerdo a, los estándares establecidos por la EURE. Entre sus directrices, especifica la facilitación y gratuidad de los datos, para la EUREF y los usuarios, define las señales GNSS que deben observarse, el mantenimiento de los metadatos de las

estaciones y el procedimiento para cargar datos a EUREF (formato, frecuencia, latencia), etc.

Para la obtención de productos de alta calidad la EUREF dispone además de, red de seguimiento, centros operacionales, centro de datos y centro de análisis.

Centros Operacionales

Los centros operacionales, son las agencias responsables de cargar datos GNSS de una o más estaciones de seguimiento a los centros de datos EPN y de mantener los metadatos de las estaciones EPN, bajo su responsabilidad.

La carga de datos se realiza según los estándares definidos por EPN y acordados con las agencias. © Copyright 2016-2018- Real observatory of Belgium http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf.

Centros de Datos

Estos centros, ofrecen los datos de la estación y productos finales de forma gratuita. El acceso a éstos se consigue, través de varios centros de datos, que reciben información, a su vez de varios centros operacionales.

1. Centro de datos nacionales y regionales. Información diaria y por hora en archivos de 30 seg. Datos en el formato RINEX.
2. Datos descargables a través de ftp histórico. Información diaria en archivo EPN de 30 seg. Datos en el formato RINEX.
3. Datos descargables a través de ftp, archivo EPN, en tiempo real y en formato RTCM: emisoras locales y regionales, flujos de datos disponibles utilizando el software Ntrip-Client 15 minutos, casi en tiempo real, a 1Hz.
4. Datos de EPN en formato RINEX: Centro de datos de alta velocidad descargables a través de ftp anónimo.

Centros de Análisis

Estos centros, analizan los datos de las estaciones, siguiendo los estándares acordados, para contribuir a los productos generados por varios Coordinadores de Productos EPN. Realizan al menos una de las siguientes tareas:

Estimación rutinaria de las posiciones diarias y semanales de la estación y los errores ionosféricos y troposféricos. Estas soluciones se utilizan para generar las posiciones EPN combinadas (diaria/semanal), de cada estación EPN.

Productos Generados

Estos productos son, la posición y velocidad de la estación EPN:

Se realizan: estimaciones de posición y velocidad diarias, basadas en la toma de datos GNSS durante un día, se actualizan diariamente y se utilizan para la vigilancia de la estación, estimaciones de posición y velocidad semanales, de posición y velocidades a largo plazo, basadas en los datos EPN disponibles, actualizados cada 15 semanas, utilizado como realización oficial de la EUREF del ETRS89, estimaciones del retardo de la trayectoria troposférica de la EPN, predicción de las órbitas satélites y correcciones de reloj.

Estos productos consiguen mejorar y proporcionar acceso al Marco de Referencia Terrestre Europeo (ETRS89).

Proyectos y Grupos de Trabajo

- *Proyectos y grupos de trabajo relacionados con la EPN:*
 - Grupo de trabajo europeo sobre velocidades densas.
 - Grupo de Trabajo de Densificación de EPN.
 - Grupo de trabajo sobre modelos de deformación.
 - Grupo de trabajo Multi-GNSS.
 - Grupo de trabajo de reprocesamiento de EPN.
 - Proyecto de análisis en tiempo real de EPN.

- *Proyectos y grupos de trabajo anteriores, relacionados con EPN.*
 - Monitoreo de series de tiempo de EPN (2001-2008). Hoy día, el análisis de series de tiempos de coordenadas de EPN, forma parte de las operaciones de rutina EPN.
 - Posición y velocidades. Estimación de parámetros de la troposfera (2001-2008).
 - Los retrasos en la ruta cenital de la estación actualmente, forman parte de las operaciones de rutina de EPN.
 - EUREF-IP (2002-2007) En la actualidad, los flujos de datos en tiempo real forman parte de las operaciones de rutina de EPN.

- *Proyectos externos, con los que la EPN está o estuvo contribuyendo.*
 - Proyecto piloto de monitoreo de puntos de referencia de la marea IGS (TIGA)
 - Proyecto piloto en tiempo real de IGS.

http://www.epncb.oma.be/_organisation/WG/

Administración de la EUREF

Su gestión diaria, la realiza la Oficina Central, que su vez está gestionada por el Coordinador de la Red de EPN (jefe de la Oficina Central), que preside el Grupo de Coordinación de EPN. La Oficina Central, se creó en junio de 2000, durante el Simposio EUREF celebrado en Tromsø. Está ubicada en el Observatorio Real de Bélgica, Avenida Circulaire 3, B-1180 Bruselas y es responsable de la gestión diaria de la red permanente GNSS de EUREF, siguiendo las directrices del Grupo de Trabajo Técnico de EUREF:

1. Desempeña una función de coordinación a largo plazo, para garantizar que los participantes de EUREF contribuyan al servicio de manera firme y se adhieran a los estándares de EUREF.
2. Verifica, que el EPN CB reciba información sobre: estaciones, centros, redes, datos, flujo de datos, generación de productos, disponibilidad de productos y direcciones. Pone esta información a disposición de la comunidad de usuarios. Instruye a las nuevas estaciones y centros, sobre los estándares EUREF / IGS y coordina su introducción en la red.
3. Coordina, la topología de la red: estaciones a incluir o excluir, asignación de estaciones a centros de datos (junto con el coordinador de flujo de datos) y centros de análisis (junto con el coordinador de análisis).
4. Coordina: el flujo de información hacia el Servicio Internacional de GPS (IGS) y otras organizaciones, interfaces con el IGS para asegurar la compatibilidad de IGS y EUREF y la colaboración en proyectos de interés común.
5. Preserva, la armonización de estándares entre la EUREF y la IGS y coordina los proyectos EPN.
6. Organiza: informes, talleres y reuniones que tratan aspectos de la red GNSS permanente.
7. Informa, al Grupo de Trabajo Técnico de EUREF y prepara en colaboración con todas las agencias participantes, un informe anual. Publica los documentos necesarios para una planificación satisfactoria, incluidas: normas, directrices y especificaciones. © Copyright 2016-2018- Real observatory of Belgium: http://www.epncb.oma.be/_organisation/about.php

3.3.3.- RED GEODÉSICA NACIONAL DE ESTACIONES DE REFERENCIA GNSS (ERGNSS)

La red geodésica nacional de estaciones de referencia GNSS (ERGNSS), es una red permanente de funcionamiento continuo y ámbito nacional, activa, de orden cero y clase A, gestionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Está formada por 100 estaciones aproximadamente, repartidas de forma estratégica por todo el territorio nacional, 27 están integradas dentro de la Red Europea EUREF (EPN) y tres forman parte de la Red Internacional GNSS, service (IGS). Fig. 32.

Con el fin de, tener una densidad correcta por todo el territorio, el IGN comparte la propiedad de algunas estaciones de la ERGNSS con otras instituciones, como Comunidades Autónomas y Puertos del Estado, mediante acuerdos de colaboración.

Las estaciones están equipadas con: receptores geodésicos multifrecuencia, con capacidad de recepción de otras constelaciones, como GLONASS o GALILEO, antenas geodésicas, básicamente del tipo "Choke ring" y calibración de la variación del centro de fase, algunas llevan calibraciones individuales). El directorio donde se pueden consultar las fichas de las estaciones de referencia, es <ftp://ftp.geodesia.ign.es/ERGNSS/fichas/>



Fig. 32.- Estaciones de referencia de la red EGNSS. Fuente: modificada de www.ign.es/web/resources/geodesia/visorGeodesia/index.html

La red de estaciones permanentes del IGN, constituye la referencia básica para acceder al sistema ETRS89 de forma directa.

Los objetivos de dicha red se pueden resumir en:

1. Obtención de coordenadas muy precisas y campo de velocidades en todos los puntos de la red.
2. Contribución a la definición de los nuevos Sistemas de Referencia Globales (ITRF) en el territorio nacional.
3. Ser puntos fundamentales de la Red Europea EUREF de estaciones permanentes (EPN), para la densificación de los marcos globales y definición del sistema ETRS89.
4. Utilización de registros de datos continuos para estudios de geodinámica, troposfera, ionosfera, meteorología, etc.
5. Proporcionar de forma pública, a los usuarios de GNSS, los datos necesarios para trabajos geodésicos, cartográficos, topográficos y de posicionamiento en general.

La red geodésica nacional GNSS (ERGNSS), ofrece diferentes servicios:

- Descarga de ficheros RINEX para trabajos en post-proceso con diferentes intervalos horarios (1, 5, 10 y 30 segundos o diarios a 30 segundos) desde diferentes formas.

Directamente a través de un servidor FTP.

A través de la página web, en la utilidad "Datos Geodésicos" A través del Programa de Aplicaciones Geodésicas (PAG)

- Datos del Servicio de Posicionamiento en tiempo real, mediante conexión a diferentes "stream" de datos disponibles. Permite al usuario un posicionamiento en tiempo real preciso, a través de, conexión a internet de los servidores del IGN.

IGN, es un Centro de Análisis de Datos GNSS, que realiza un procesamiento continuo de datos procedentes tanto de, las estaciones permanentes de la red ERGNSS, como de otras redes, para diferentes proyectos. Además, desde septiembre de 2001 es el Centro de Análisis Local de EUREF (acrónimo IGE). Para más información, se puede consultar en la Web del © Instituto Geográfico Nacional en la siguiente dirección: <https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-gnss-tiempo-real>

3.3.4.- RED ANDALUZA DE POSICIONAMIENTO (RAP)

La Red Andaluza de Posicionamiento, es una red autonómica de estaciones permanentes de funcionamiento continuo, que la Junta de Andalucía ofrece para un posicionamiento preciso en todo el territorio andaluz, proporciona servicios gratuitos para trabajos en post-proceso, mediante descarga de datos RINEX, así como, posicionamiento en tiempo real, utilizando diferentes correcciones diferenciales a través de conexiones a internet. Proporciona un marco de referencia único y estable para toda Andalucía.

La RAP, operativa desde 2007, está constituida por un conjunto de veintidós estaciones de referencia Fig. 33, situadas de forma homogénea, con la finalidad de dar cobertura a todo el territorio andaluz; están emplazadas en las ocho capitales de provincia y en determinadas localidades, para cumplir con las exigencias de cobertura óptima de zonas del interior y de zonas costeras. En el diseño final, las estaciones tienen una separación de entre 50 y 70 km. aproximadamente. Así, el 100% del territorio andaluz está cubierto, y puede recibir las correcciones diferenciales en tiempo real.

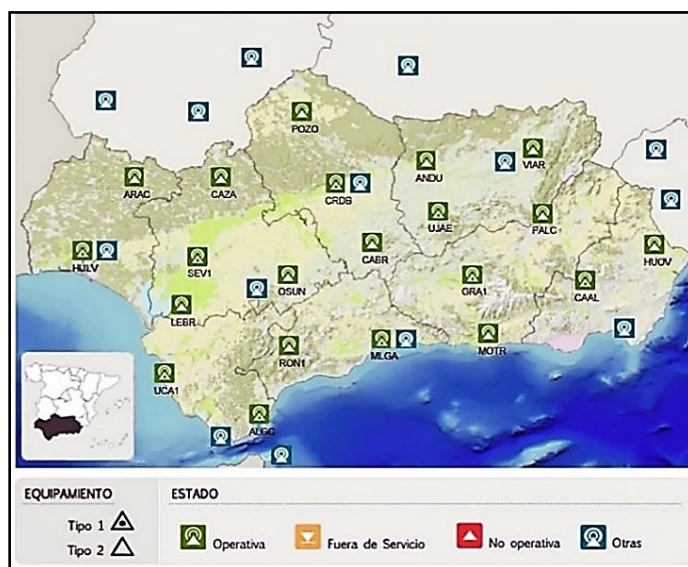


Fig. 33.- Estaciones de funcionamiento continuo de la Red Andaluza de Posicionamiento. Fuente: <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/rap/estaciones>

INFRAESTRUCTURA

La ubicación de las estaciones está condicionada, además de por la geométrica de la red, por otros aspectos importantes; deben tener un funcionamiento continuo y permanente y la ubicación se asegura a largo plazo, para que los cambios de ubicación de la antena sean poco probables, de aquí que, diez de las estaciones de la RAP estén ubicadas en hospitales del Sistema Sanitario Andaluz y el resto en diferentes organismos públicos.

Las estaciones de referencia de la RAP, están agrupadas en dos categorías: estaciones de primer y segundo nivel. La diferencia entre niveles, se basa en el equipamiento de las estaciones.

En la tabla 14 se observa: identificador de la estación, receptor bifrecuencia y antena utilizada en cada estación, así como, el nivel al que pertenece cada una de ellas. Todas las estaciones cuentan con la infraestructura de conexión eléctrica ininterrumpida y conexión a internet. Las estaciones de primer nivel disponen además de, estación meteorológica, antena tipo choke ring y radio moden (Pacific Crest y Sateline) con un alcance de 15 km.

Tabla 14.- Estaciones de la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). Fuente: autor

Localidad	Identificador	Receptor	Antena	Nivel
Algeciras	ALGC	LEICA GR50	LEIAT504 LEIS	1
Almería	ALMR	LEICAGR1200 PRO	LEIAX1202 NONE	1
Andujar	ANDU	LEICA GRX1200 PRO	LEIAX1202 NONE	2
Aracena	ARAC	LEICA GR25	LEIAR20 LEIM	2
Calar Alto	CAAL	LEICA GR25	LEICA AR10	1
Cabra	CABR	LEICA GRX1200PRO	LEIAX1202 NONE	2
Cazalla	CAZA	LEICA GR25	LEIAR20 LEIM	2
Córdoba	CORDB	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 LEIS	1
Granada	GRA1	LEICA GR10	LEIAT504 LEIS	1
Huelva	HULV	LEICA GRX1200PRO	LEIA T504 LEIS	1
Huércal - Overa	HUOV	LEICA GR50	LEIAR20 LEIM	2
Lebrija	LEBR	LEICA GR50	LEIAR20 LEIM	2
Málaga	MLGA	LEICA GRX1200 PRO	LEIAT504 LEIS	1
Motril	MOTR	LEICA GR50	LEIAR20 LEIM	2
Osuna	OSUN	TRIMBLE NETR9	TRM57971.00 NON	2
Pozo Alcón	PALC	LEICA GRX1200 PRO	LEIAX1202 NONE	2
Pozoblanco	POZO	LEICA GR50	LEIAR20 LEIM	2
Ronda	ROND	TRIMBLE NETR9	TRM57971.00 NONE	2
Sevilla	SEVI	TRIMBLE NETR9	TRM59900.00 SCIS	1
Cádiz	UCAD	LEICA GR50	LEIAR20 LEIM	1
Jaén	UJAE	LEICA GR50	LEIAR20 LEIM	1
Villanueva del Arzobispo	VIAR	LEICA GRX1200 PRO	LEIAX1202 NONE	2

SERVICIOS OFRECIDOS

Para la gestión de datos, la RAP cuenta con diferentes servidores, que realizan diferentes funciones: descarga de datos de las estaciones que son enviados a diferentes FTP, almacenamiento de ficheros para trabajos en postproceso, calculo y transmisión de correcciones en tiempo real (Método MAC) y realización del control de calidad.

La RAP, ofrece servicios en postproceso y en tiempo real. En postproceso, ofrece servicios de descarga de ficheros RINEX, de las observaciones realizadas por todas las estaciones de la red en 24 horas, pudiendose realizar la descarga de cualquier estación en ficheros RINEX a 1 segundo, en ficheros de 1 hora de observaciones y navegación o en RINEX a 30 segundos y en ficheros de 24 horas de observaciones y de navegación.

Tabla 15.- Primera configuración correcciones diferenciales en tiempo en tiempo real.
Fuente: RAP.

Puerto	Formato	Mensajes (intervalo de emisión en seg)	Descripción
7018	RTCM2.3	1(1), 2(60), 3(10), 18(1) 19(1), 22, 23(10) y 24(10)	Correcciones diferenciales desde una estación seleccionada. RTCM_18_19_Estación (Estación es el emplazamiento de la estación)
7020	RTCM2.3	1(1), 2(60), 3(10), 20(1) 21(1), 22, 23(10) y 24(10)	Correcciones diferenciales desde una estación seleccionada. RTCM_20_21_Estación (Estación es el emplazamiento de la estación)
7030	RCTM3.1	1004, 1006, 1008, 1014, 10015, 10016 y 1033 1004, 1006, 1008, 1032 y 1033	Correcciones diferenciales basadas en solución de red. MAX_red_automática IMAX_red_automática

En el año 2006, comenzaron a emitirse correcciones diferenciales en tiempo real, la solución ofrecida se denomina simple, en formato RTCM 2.3, desde la estación seleccionada o desde la estación más cercana. Posteriormente, se puso a disposición de los usuarios las correcciones diferenciales basadas en solución de red, transmitidas en formato RTCM 3.1 y soluciones MAX e IMAX.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

El desarrollo de nuevas constelaciones de satélites (Galileo, Glonass, Beidou. etc) y de nuevas versiones en los formatos RTCM, hace necesario adecuar los equipos y las distintas soluciones de correcciones, para recibir y procesar datos de las constelaciones mejorando así, el servicio que presta la RAP de forma gratuita en materia de, navegación y posicionamiento preciso. En 2016, comienzan los trabajos de actualización de equipos GNSS de la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP), con esta inversión será compatible con las estaciones de la Red ERGNSS, del Instituto Geográfico Nacional.

La primera actualización, se realizó en una estación situada en el Observatorio Hispano-Alemán de Calar Alto (Almería), situado a más de 2.000 metros de altitud; en la actualidad se encuentra plenamente operativa

En la tabla 16 se puede observar: nuevos puertos de conexión, diferentes soluciones, mount point y diferentes formatos ofrecidos por la Red Andaluza de Posicionamiento, de esta forma, se pretende dar un servicio de correcciones diferenciales que pueda ser utilizado prácticamente por la mayoría de los equipos comerciales actuales.

Tabla 16.- Configuraciones actuales de la RAP a partir de 2016. Fuente: RAP
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/blog/tag/rap/>

Puerto 2101				Puerto 2102	
Soluciones de Red		Más Cercana		Punto Simple	
Mount Point	Formato	Mount Point	Formato	Mount Point*	Formato
VRS3	RTCM3.x	CERCANA3	RTCM3.x	XXXX3	RTCM3.x
VRS2	RTCM2.3	CERCANA2	RTCM2.3	XXXX2	RTCM2.3
VRScmr	CMR	CERCANAcmr	CMR	XXXXcmr	CMR
VRScmr+	CMR+	CERCANAcmr+	CMR+	XXXXcmr+	CMR+
MAX3	RTCM3.x				
MAX2	RTCM2.3				
MAXcmr	CMR				
MAXcmr+	CMR+				
iMAX3	RTCM3.x				
iMAX2	RTCM2.3				
iMAXcmr	CMR				
iMAXcmr+	CMR+				
				* Siendo XXXX el identificador de la estación (ej. ALMR3)	

El servicio RTK, que proporciona correcciones diferenciales en tiempo real, vía internet, ha sido mejorado, aumentando el número de formatos y la posibilidad de utilizar la corrección de estación de referencia virtual virtual (VRS), además del concepto MAC. La nueva conexión a partir del 1/01/2017 al Caster NTRIP: **rap.juntadeandalucia.es** o la IP: **217.12.26.252**

CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad, se realiza con el objetivo principal de analizar la estabilidad y calidad temporal, tanto de, las estaciones como de los datos GPS observados. La calidad de una red geodésica, no depende exclusivamente de los equipos instalados, en gran medida depende de la ubicación física de la estación.

Este control se realiza en la RAP sobre: datos, estaciones, control geodésico relativo y control geodésico absoluto.

En el control sobre los datos y estaciones, se analizan diferentes parámetros: obstáculos en el horizonte, error multithipah, observaciones diarias, señal-ruido, estabilidad de la posición de navegación, número de observaciones previstas frente a las obtenidas.

Para evaluar los obstáculos, se representan gráficamente los satélites y los obstáculos observados, utilizando software libre QC2SKY (Roggero, 2004).

El control de calidad de los datos, se realiza mediante la comparación de los datos con los obtenidos por otras redes internacionales EUREF e IGS, utilizando el software TEQC (Translate/Edit/Quality Check) de UNAVCO (University NAVSTAR Consortium).

El control geodésico relativo, se refiere a la publicación de gráficas correspondientes a los residuos de las series temporales, de las coordenadas de las estaciones que pertenecen a la red RAP.

El control geodésico absoluto, consiste en la comparación y representación gráfica de las diferencias entre las soluciones obtenidas por las estaciones de la EUREF que se utilizan para encuadrar las estaciones de la RAP y las soluciones calculadas por el laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía de la Universidad de Cádiz (Centro de control de la RAP) para estas estaciones de control.

Dentro de las mejoras comentadas anteriormente, el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA), puso en marcha un nuevo Centro de Control de la RAP que está en funcionamiento desde el 1 de enero de 2016, su despliegue ha supuesto una inversión en la adquisición del software de control y mejoras en la gestión de las comunicaciones; ha sustituido al Centro de Control de la Universidad de Cádiz, que ha estado operativo desde la inauguración del servicio en el año 2006. Se puede consultar en la pag de la junta de andalucia, en la siguiente dirección <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/blog/2017/03/ieca-centro-operacional-de-euroref/>

MARCO DE REFERENCIA

El marco de referencia utilizado es el internacional ITRF2000, se constituye para enlazar las estaciones de la RAP, con las estaciones más próximas, pertenecientes a redes geodésicas activas de orden superior IGS o EUREF. El proceso de cálculo y ajuste, se realiza semanalmente con el software Bernese 5.0, desarrollado por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna (Suiza). Se obtiene una coordenada diaria para cada estación de la RAP, estas soluciones diarias se combinan, realizando un ajuste por mínimos cuadrados, obteniéndose una solución semanal para cada estación. El ajuste final de la red se realiza fijando las estaciones de IGS o EUREF para cada época considerada. (Berrocoso M et al 2006).

Desde el 15 de marzo de 2018, se comenzó a cambiar las coordenadas de todas las estaciones GNSS del territorio nacional (excepto Canarias). La última recomendación europeas provenientes de EUREF sobre la realización de ETRS89 es la realización ETRF2000 en la época 2017.0.

Tabla 17.- Coordenadas ITRF2000 época 2017.0 en proyección UTM. Huso 30. Fuente: RAP.

Ubicación	Identifica	Coordenada X	Coordenada Y	Nivel
Algeciras	ALGC	280000.775	3999031.150	1
Almería	ALMR	549837.792	4079783.600	1
Andújar	ANDU	409589.798	4210795.810	2
Aracena	ARAC	186465.834	4200036.689	2
Calar Alto	CAAL	540135.180	4119494.898	1
Cabra	CABR	374054.384	4147738.461	2
Cazalla	CAZA	257471.204	4202514.903	2
Córdoba	CORDB	342765.556	4193718.831	1
Granada	GRA1	447066.172	4116105.419	1
Huelva	HULV	152998.098	4133150.585	1
Huércal -Overa	HUOV	593629.681	4139945.259	2
Lebrija	LEBR	225466.460	4090704.737	2
Málaga	MLGA	371804.842	4064283.470	1
Motril	MOTR	453537.429	4067794.275	2
Osuna	OSUN	314137.484	4122700.601	2
Pozo Alcón	PALC	505958.803	4172791.478	2
Pozoblanco	POZO	338476.315	4249981.715	2
Ronda	ROND	308221.279	4066209.401	2
Sevilla	SEVI	234288.093	4144686.589	1
Cádiz	UCAD	212433.943	4047726.911	1
Jaén	UJAE	431168.522	4182554.777	1
Villanueva del Arzobispo	VIAR	498907.054	4224415.192	2

En marzo de 2017, el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA) ha integrado las 22 estaciones de funcionamiento continuo que conforman la Red Andaluza de Posicionamiento en la Red de Densificación GNSS de EUREF (*EUREF Densificación*), su objetivo fundamental es, armonizar los datos de coordenadas y campo de velocidades a escala europea y su actividad se basa en, la utilización de estos datos para estudios geodinámicos y para ser aplicados por otras Ciencias y Grupos de Análisis de Deformaciones de la corteza terrestre. Se puede consultar en las siguientes direcciones:
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/blog/2017/03/ieca-centro-operacional-de-euroref/>
<http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/rap>

3.3.5.- OTRAS REDES GEODÉSICAS ACTIVAS

En la figura 30 de este documento, puede observarse el número de redes geodésicas activas que se han instalado en los últimos años, en prácticamente, todas las comunidades autónomas. Generalmente ofrecen servicios para trabajos en post-proceso y correcciones diferenciales en tiempo real, entregando solución simple y solución de red; para ello utilizan diferentes métodos de corrección VRS, MAX, IMAX y conexión a internet a través del protocolo NTRIP.

A continuación, nombramos las redes existentes en el territorio español.

Red de Geodésica Activa de Aragón (ARAGEA), compuesta por veintidós estaciones.
<https://gnss.aragon.es/>

Red Geodésica Activa de les Illes Balears (XGAIB) constituida por nueve estaciones.
<http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?idsite=5505&cont=94480>

Red GNSS de Cantabria, formada por siete estaciones.
<http://www.territoriodecantabria.es/cartografia-sig/red-activa-de-estaciones-gnss-de-cantabria/mapas-red>

Red de estaciones GNSS de Castilla y León, constituida por cuarenta y nueve estaciones.
<http://gnss.itacyl.es/index.php?ruta=/opencms/opencms/inicio/index.html>

Red GNSS de Cataluña, constituida por dieciséis estaciones.
<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Posicionament/Estacions-GNSS/Sobre-les-estacions-GNSS>

Red GNSS de Euskadi, formada por catorce estaciones.
www.gps2.euskadi.net/network.php

Red GNSS de Extremadura, constituida por once estaciones.
<http://www.rep-gnss.es/index.php>

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Red Geodésica de Estaciones de Referencia de Valencia (ERVA), constituida por once estaciones. <http://www.icv.gva.es/es/web/icv-erva>

Red de estaciones permanentes GNSS - La Rioja, formada por cinco estaciones.

<https://www.iderioja.larioja.org/?id=20&lang=es>

Red de Estaciones Permanentes de Canarias está constituida por diecisiete estaciones.

<https://www.grafcan.es/2009/08/red-de-estaciones-permanentes-de-canarias#>

Red GNSS de Murcia (Meristemun), formada por cinco estaciones.

<http://gps.medioambiente.carm.es/>

Red GNSS Activa del Principado de Asturias (RGAPA), compuesta por trece estaciones.

<http://rgapa.cartografia.asturias.es/index.html>

Red GNSS Galicia (GALNET) formada por diecisiete estaciones.

<http://cartogalicia.com/galnet2/>

Red GNSS de la Comunidad de Madrid constituida por 5 estaciones.

<http://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/estaciones-base-gps>

CAPITULO IV.- TRABAJOS REALIZADOS

4.1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo se exponen los trabajos realizados, para validar los objetivos de partida. Para ello, se establecen dos objetivos generales:

- ✓ El primero, consiste en evaluar y caracterizar una Red Geodésica Activa, en cuanto a, su calidad posicional, funcionamiento y rendimiento del sistema.
- ✓ El segundo, radica en realizar trabajos topográficos aplicados en distintos Proyectos de Ingeniería Civil y Minería, utilizando los servicios de una Red Geodésica Activa y determinando el rendimiento de dichos trabajos.

A continuación, se exponen los materiales utilizados, los diferentes métodos empleados en esta investigación, el análisis de datos y los resultados obtenidos.

4.2.- EVALUACIÓN DE UNA RED GEODÉSICA ACTIVA

4.2.1.- MATERIALES.

Para la realización de este trabajo se utiliza la Red Andaluza de Posicionamiento, constituida por veintidós estaciones GPS permanentes. La RAP, ofrece servicios para posicionamiento preciso en todo el territorio Andalúz mediante descarga de datos Rinex, en trabajos en post-proceso, a la vez que, correcciones diferenciales para posicionamiento en tiempo real. Para control de calidad y procesamiento de datos, el centro de control dispone de software científico (Bernese, Gipsy, etc) o comercial (Leica Geoffice, Trimble Geomatic office), etc.

El marco de referencia utilizado es el internacional ITRF2000, se forma para las estaciones de la RAP, mediante su enlace con las estaciones más próximas pertenecientes a las redes geodésicas activas de orden superior, IGS o EUREF. El proceso de cálculo y ajuste se realiza semanalmente con el software Bernese 5.0, desarrollado por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna (Suiza).

El equipo móvil utilizado para la toma de datos, es un receptor geodésico GX1230 Leica (Hexagon AB, Stockholm, Suecia), de doble frecuencia, con posibilidad de conexión a internet a través de enlace GSM: Siemens MC75, teléfono móvil integrado en una carcasa Leica GFU, con frecuencias de 850, 900, 1800 y 1900 MHz y antena GPS ATX 1202.

4.2.2.- METODOLOGÍA

Se aplican métodos GPS estáticos y cinemáticos en tiempo real RTK. De los servicios que ofrece la Red Andaluza de Posicionamiento, se emplean especialmente aquellos que emplean las técnicas de posicionamiento utilizando correcciones diferenciales en tiempo real (RTK). Se obtienen diferentes soluciones, aplicando distintos métodos de corrección: solución simple, soluciones de red (MAX, IMAX) y solución simple desde la estación seleccionada.

Los parámetros a evaluar son: precisión, exactitud, determinación de la repetibilidad y reproducibilidad y finalmente el rendimiento en el levantamiento topográfico.

4.2.2.1.- Precisión

La precisión permite determinar la dispersión de los datos obtenidos, fijando el valor más probable para una magnitud medida. Este valor, se obtiene a partir de las observaciones realizadas, lo que implica un número sobredimensionado de repeticiones en el proceso de medición. Las medidas nunca serán exactas, al existir, una serie de factores que influyen en este proceso: los propios sentidos, la instrumentación utilizada, factores externos, etc.

Al utilizar una red GNSS, este parámetro dependerá de distintas variables como: número de satélites, geometría de la constelación, tiempo de observación, precisión de las efemérides utilizadas, efectos locales como multipath, correcciones generadas por el sistema, distancia de estaciones de referencia etc.

Algunos errores como, la actividad ionosférica y troposférica, no son controlables, pero tendremos en consideración que, la distancia entre estaciones de referencia condiciona la dependencia de la red respecto a estos factores.

La precisión, vendrá determinada numéricamente por la desviación estándar de las medias recogidas. Para determinarla, se han monumentado una serie de puntos de control en el arcén de varias carreteras, situadas al norte de la provincia de Córdoba, como puede verse en la Fig. 34; estos puntos, son clavos de acero, lo que permitirá tomar datos en el mismo punto, ya que, al estar fabricados con acero, pueden permanecer estables durante las observaciones. Se han establecido seis puntos de control, distribuidos en grupo de tres y a una distancia aproximada de 30 y 40 Km respectivamente, de la estación de referencia permanente ubicada en la localidad de Pozoblanco, Córdoba, que pertenece a la Red Andaluza de Posicionamiento.

La toma de datos se realiza en tiempo real RTK, con metodología MAC, utilizando solución simple y solución de red. Para la solución simple, se emplean correcciones diferenciales correspondientes a la estación más cercana, en formato estándar RTCM 2.3 que son enviadas a través del protocolo NTRIP vía internet. Para las soluciones de red se utilizan las correcciones MAX e IMAX en formato RTCM 3.1.

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “

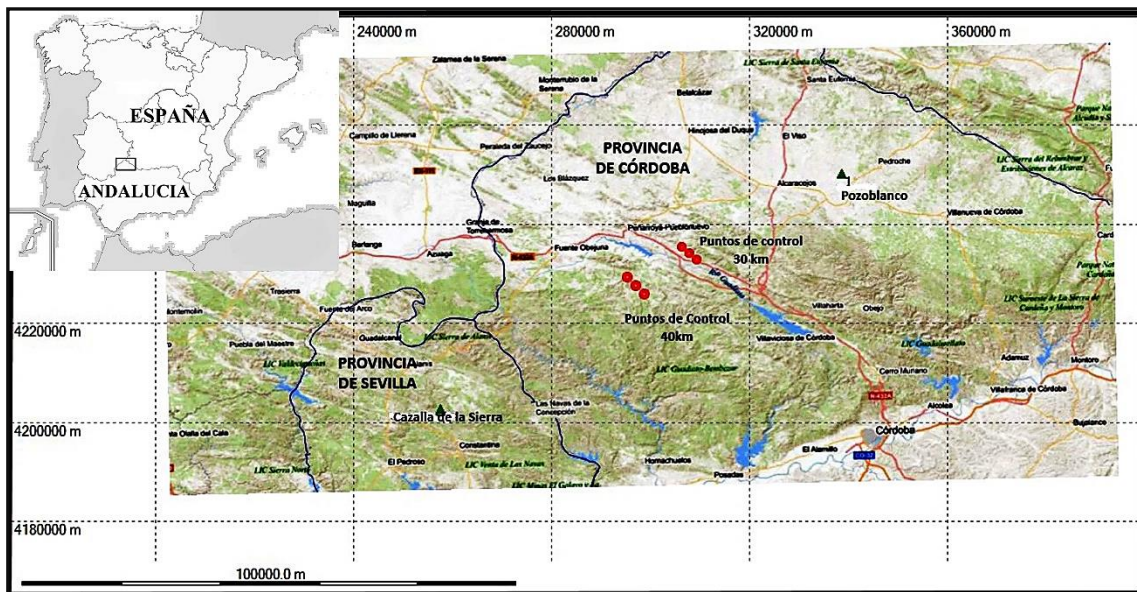


Fig. 34.- Situación puntos de control. Fuente: autor

Para disponer, de datos suficientes en cada punto de control, se han tomado tres series distintas y en cada serie, se han realizado sesenta repeticiones; cada serie de datos, se toma en semanas distintas, para evitar que los datos recogidos presenten una fuerte correlación temporal (condiciones ambientales, configuración de la constelación GNSS etc.).

4.2.2.2.- Exactitud

Para determinar, la exactitud de las soluciones ofrecidas por la Red Andaluza de Posicionamiento, obtenemos las coordenadas de los seis puntos de control, por el receptor móvil, en tiempo real RTK, configurado con arquitectura MAC, estas coordenadas se compararán con las de, los seis puntos de control, que han sido obtenidas con métodos más precisos. Las coordenadas de estos puntos de control, se han determinado mediante un levantamiento estático, con un tiempo de observación aproximado de sesenta minutos en cada punto. La precisión obtenida en las coordenadas, dependerá en este caso del tiempo de observación. Una vez obtenido el archivo del equipo móvil, descargamos de la FTP de la RAP, el archivo correspondiente de la antena de referencia Pozoblanco, correspondiente al día y hora de la observación del móvil.

Utilizando el software comercial Leica Geo Office, se realiza el cálculo de las coordenadas de los puntos de control, en post-proceso. En general, los parámetros utilizados en postproceso son: ángulo de elevación 15°, tipo de efemérides transmitidas, tipo de solución automática y tipo de GNSS automático.

La estrategia utilizada es: frecuencia automática, fijar ambigüedades hasta 80 km, duración mínima para solución flotante de 300 segundos, utilizar todas las observaciones

realizadas como intervalo de muestreo, modelo troposférico de Hopfiel, modelo ionosférico automático, distancia mínima 8 km y actividad ionosférica automática.

Para tener redundancia en datos obtenidos en tiempo real, se realizan tres series de medidas en épocas diferentes, tomando sesenta datos en cada serie. La solución utilizada es la generada por la RAP, aplicando el concepto MAC y obtienen las coordenadas de los puntos de control, utilizando todas las soluciones que ofrece la RAP. Las coordenadas obtenidas en tiempo real RTK, comparadas con las de los puntos de control, obtenidas con un método de rango superior en precisión, permitirá determinar la desviación estándar, estableciendo la exactitud o veracidad del sistema.

4.2.2.3.- Determinación de la Repetibilidad y Reproducibilidad de las Soluciones de la R.A.P

En esta parte del trabajo, se aplicó la norma UNE UNE8002009-2 equivalente a la Norma Internacional ISO 5725-2:1994 *Exactitud de resultados y métodos de medición*, a las soluciones ofrecidas por una red geodésica activa, en nuestro caso, la Red Andaluza de Posicionamiento que opera en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Se utilizaron los datos suministrados desde tres estaciones de referencia, consideradas como laboratorios, donde se ensayan seis niveles, realizando noventa repeticiones en cada nivel, para determinar: variabilidad de las soluciones obtenidas, valores de repetibilidad y reproducibilidad. El método utilizado por la red, es el concepto MAC solución simple desde la estación seleccionada en formato RTCM2.3 mensajes 18 y 19.

La norma considera la repetibilidad y reproducibilidad como, dos tipos de precisión para determinar la variabilidad de un método de medición, siendo ambas los extremos de la precisión; la repetibilidad caracteriza la menor variación y la reproducibilidad la máxima variación.

En la planificación de esta metodología de validación, se establece un número (p) de laboratorios, donde se ensayan un número de niveles (q) con el mismo número (n) de repeticiones en cada nivel, considerando para cada laboratorio las mismas condiciones de repetibilidad. La precisión, es el término general para designar la variabilidad existente entre mediciones repetidas.

Al utilizar una red RTK activa se consideran como laboratorios, las antenas de tres estaciones de referencia desde las que se obtendrá la posición (x y z) en los seis niveles, (puntos de control) donde se realizan (n) repeticiones, en este caso, noventa en cada nivel, desde los tres laboratorios seleccionados. El método utilizado por la red de estaciones de referencia es el concepto MAC (Master Auxiliary Concept) solución simple, desde la estación seleccionada, que, en este caso coincidiría con la estación maestra empleada por el concepto MAC y desde la cual se envían correcciones al equipo móvil.

El material utilizado es un receptor GPS bifrecuencia de la serie 1200, marca comercial Leica (Hexagon AB, Stockholm, Suecia), con antena 1202 AX colocada sobre

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

bastón y equipada con teléfono móvil que ofrece la posibilidad de conexión a internet, para recibir correcciones diferenciales desde la estación seleccionada a través de protocolo NTRIP, mensajes RTCM.

Los seis puntos de control se corresponden con los seis niveles a ensayar (q), donde se realizan el mismo número de repeticiones (n) desde los tres laboratorios (P) elegidos. Las estaciones de referencia elegidas como laboratorios son: Pozoblanco, Cazalla y Córdoba. La distancia entre estaciones de referencia es: de Córdoba a Pozoblanco 56426.279 m, de Córdoba a Cazalla 85746.937 m y de Pozoblanco a Cazalla 93888.073m. En la fig. 35, se observa la distribución geométrica de las estaciones y los puntos de control.

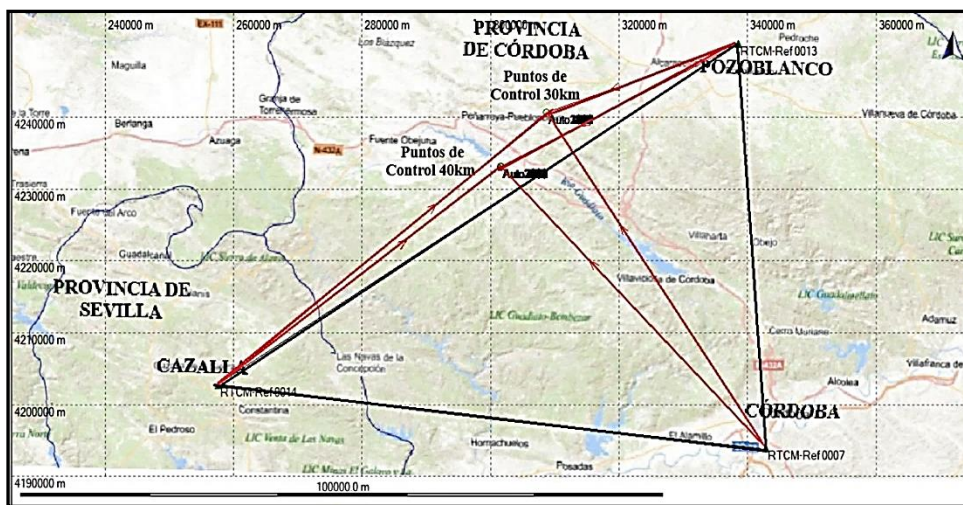


Fig. 35 .- Distribución geométrica de las estaciones de referencia y niveles de control.

Fuente: autor

La planificación de la toma de datos ha sido la siguiente:

1. Toma de datos en tiempo real, utilizando las soluciones ofrecidas por la Red Andaluza de Posicionamiento. Correcciones, utilizando el concepto MAC, proporcionadas en el formato estándar RTCM 2.3 a través del protocolo NTRIP desde la estación seleccionada.
2. Medidas tomadas siempre por el mismo operador.
3. Las series de medidas se realizan, en las mismas condiciones de repetibilidad, es decir, en breve intervalo de tiempo.
4. La posición de cada nivel se obtiene, configurando el equipo en automático, toma de la posición cada segundo y grabando 90 posiciones.

4.2.2.3.1.- Estimación de los Parámetros en el Modelo Básico

Los procedimientos descritos en la parte de la Norma UNE 82009 equivalente a la Norma Internacional ISO 5725-2:1994, se basan en el modelo estadístico descrito en el capítulo 5, de la norma UNE 82009-1: 1994. El modelo es el siguiente:

$$y = m + B + e$$

Donde:

y = material ensayado.

m = media general.

B = componente debida al sesgo del laboratorio, bajo condiciones de repetibilidad.

e = error aleatorio que tiene lugar en cada medición, bajo condiciones de repetibilidad.

En el capítulo 5 de la norma, las ecuaciones (2) y (6) se expresan como desviaciones típicas verdaderas, sin embargo, en la práctica los valores de dichas desviaciones típicas son desconocidos, por lo que, es necesario la estimación de dichos valores a partir de una muestra relativamente pequeña, en todos los laboratorios.

En la práctica estadística, el valor de la desviación típica σ es desconocido y se reemplaza por un estimador basado en una muestra, el símbolo σ se sustituye por S, para indicar de que se trata de un estimador. Donde:

$$S_R^2 = S_L^2 + S_r^2$$

S_L^2 = valor estimado de la varianza entre laboratorios.

S_W^2 = valor estimado de la varianza intralaboratorios.

S_r^2 = media aritmética de S_W^2 . Constituye el valor estimado de la varianza de repetibilidad; se obtiene a partir de los laboratorios participantes que quedan después de eliminar los incompatibles.

S_R^2 = Valor estimado de reproducibilidad.

Para más información, se puede consultar la norma UNE8002009-2, sobre exactitud, veracidad y precisión de resultados y métodos de medición AENOR,1999.

4.2.2.4 - Tiempo de Resolución de Ambigüedades

El tiempo que un equipo necesita para resolver ambigüedades depende, de muchos factores que difícilmente pueden determinarse a priori, como son: distancia a la estación base, número de satélites observados, algoritmo utilizado por el fabricante del equipo, posibles pérdidas de ciclo durante el proceso de cálculo, etc.

En este punto, se busca evaluar el tiempo que necesita un operador de campo para realizar la toma de un punto determinado. Primero, se comprobará el tiempo que necesita el receptor en conseguir un posicionamiento preciso y segundo el tiempo necesario en recuperar el sistema la precisión después de, una caída de datos y la consecuente pérdida de fase.

El primer punto se mide fácilmente, sólo es necesario inicializar el equipo y cronometrar el tiempo que necesita en conseguir la precisión deseada. La medida del segundo punto, dependerá de si se produce un corte del sistema, caída de datos o pérdida de solución de fase, a partir de ese momento, se cronometra el tiempo que tarda en conseguir la precisión necesaria.

En cada serie, se ha medido el tiempo que necesita el equipo en inicializarse, el tiempo que tarda en conectarse al centro de control y tener posición precisa. La recuperación de fase, sólo se medirá si existe caída de datos y en ese momento se anota el tiempo de recuperación.

4.2.2.5- Rendimiento en el Levantamiento Topográfico

Se analiza el sistema desde el punto de vista del levantamiento topográfico, comparando el rendimiento obtenido con los levantamientos clásicos. Para ello, se han realizado varios levantamientos de pequeña extensión, utilizados en diferentes proyectos de Ingeniería y Minería: levantamiento de fincas, caminos, carreteras. etc.

Se tomaron aproximadamente dos mil puntos, con una calidad media de 0,05m. Se empleó el método en tiempo real (RTK), utilizando la solución (MAC) correcciones diferenciales desde la estación más cercana en formato RTCM 2.3.

4.3.- ANÁLISIS DE DATOS

4.3.1.- PRECISIÓN

Las coordenadas tomadas como referencia para determinar la precisión, se obtienen de las medidas de campo, fijando el valor más probable de las medidas realizadas.

Se toman tres series de medidas en cada punto de control, realizando 60 repeticiones. A los datos obtenidos, se les aplican diferentes test estadísticos y se representan los errores para comprobar que siguen una distribución normal.

La Tabla 18, muestra las discrepancias en las componentes Este, Norte y Vertical Z, respecto al valor más probable asignado a cada punto de control.

La Tabla 19, muestra las desviaciones estándar σ_E , σ_N , σ_Z , de la componente Este, Norte y Vertical Z, para las tres series obtenidas en cada punto de control y el valor medio

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

obtenido en los puntos situados a 30 y 40 km de la estación de referencia. Los resultados obtenidos son similares, aunque los puntos de control se encuentren a diferentes distancias de la estación. La tabla, muestra también los valores de precisión media para la componente Este, Norte y Vertical Z, de los puntos de control y la variación en la precisión de las componentes: Este entre (0.006 - 0.007) m, Norte entre (0,006 - 0,007) m y Vertical Z entre (0,008 - 0.013) m

Tabla 18.- Discrepancias respecto al valor más probable. Fuente: autor

ID Punto	Serie	Dx	Dy	Dz	Dx Media	Dy Media	Dz Media
1	1 ^a	0.004	0.005	0.008			
	2 ^a	0.005	0.003	0.006	0.005	0.004	0.006
	3 ^a	0.005	0.004	0.005			
2	1 ^a	0.004	0.004	0.006			
	2 ^a	0.005	0.003	0.006	0.005	0.004	0.007
	3 ^a	0.005	0.004	0.008			
3	1 ^a	0.004	0.006	0.010			
	2 ^a	0.004	0.004	0.005	0.004	0.005	0.008
	3 ^a	0.004	0.004	0.008			
4	1 ^a	0.005	0.006	0.007			
	2 ^a	0.003	0.004	0.006	0.004	0.005	0.007
	3 ^a	0.005	0.005	0.007			
5	1 ^a	0.007	0.004	0.007			
	2 ^a	0.004	0.004	0.011	0.006	0.004	0.008
	3 ^a	0.006	0.004	0.007			
6	1 ^a	0.005	0.004	0.010			
	2 ^a	0.005	0.004	0.012	0.005	0.005	0.011
	3 ^a	0.004	0.006	0.010			

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

Tabla 19.- Precisión RTK. Solución Simple RAP. Fuente: autor

Punto Control	Serie	σE	σN	σZ	σE Media	σN Media	σZ Media
1	1 ^a	0.005	0.007	0.010	0.006	0.006	0.008
	2 ^a	0.006	0.005	0.008			
	3 ^a	0.007	0.005	0.007			
2	1 ^a	0.007	0.006	0.011	0.007	0.005	0.009
	2 ^a	0.006	0.005	0.008			
	3 ^a	0.007	0.005	0.007			
3	1 ^a	0.007	0.005	0.008	0.006	0.005	0.008
	2 ^a	0.005	0.005	0.006			
	3 ^a	0.006	0.005	0.010			
4	1 ^a	0.007	0.007	0.008	0.006	0.006	0.008
	2 ^a	0.004	0.005	0.008			
	3 ^a	0.006	0.006	0.009			
5	1 ^a	0.009	0.006	0.009	0.007	0.005	0.010
	2 ^a	0.005	0.005	0.013			
	3 ^a	0.007	0.005	0.009			
6	1 ^a	0.006	0.008	0.013	0.006	0.007	0.013
	2 ^a	0.006	0.005	0.014			
	3 ^a	0.006	0.008	0.013			

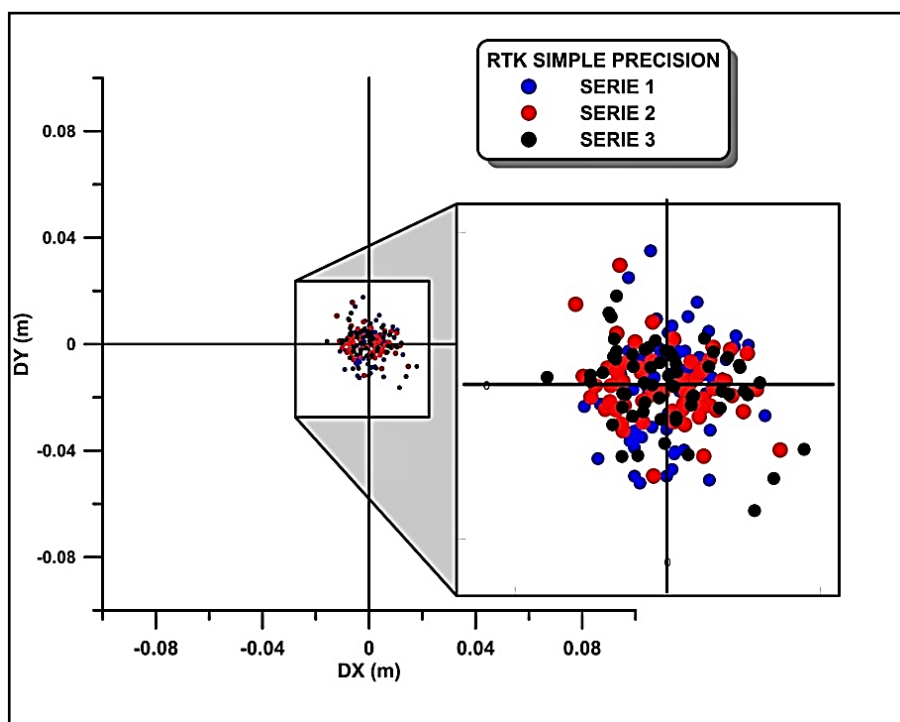


Fig. 36.- Discrepancias respecto al valor más probable utilizando solución simple RTK, punto de ensayo 1, componentes este y norte. Fuente: autor

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

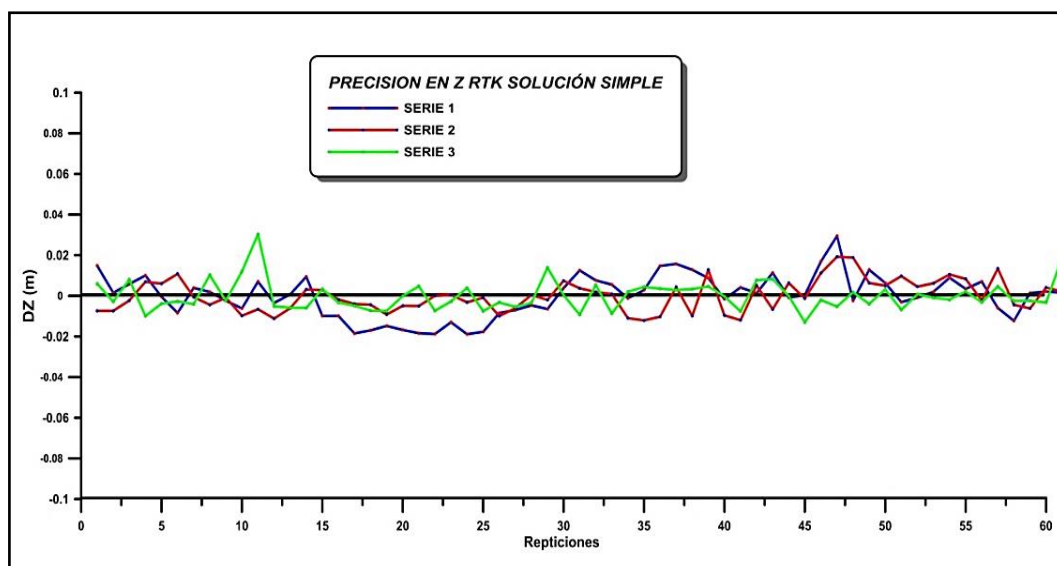


Fig. 37.- Discrepancias respecto al valor más probable utilizando solución simple RTK. punto de ensayo 1, componente vertical. Fuente: autor

Tabla 20.- Precisión NRTK. Solución MAX, RAP

Punto Control	Serie	σE	σN	σZ	σE Media	σN Media	σZ Media
1	1 ^a	0,005	0,004	0,008			
	2 ^a	0,008	0,010	0,012	0.006	0.006	0.009
	3 ^a	0,005	0,004	0,007			
2	1 ^a	0,004	0,003	0,009			
	2 ^a	0,005	0,008	0,006	0.005	0.005	0.007
	3 ^a	0,005	0,004	0,005			
3	1 ^a	0,009	0,007	0,011			
	2 ^a	0,008	0,006	0,011	0.007	0.006	0.009
	3 ^a	0,005	0,005	0,005			
4	1 ^a	0,003	0,006	0,007			
	2 ^a	0,003	0,006	0,007	0.004	0.005	0.007
	3 ^a	0,006	0,004	0,006			
5	1 ^a	0,005	0,004	0,007			
	2 ^a	0,005	0,004	0,007	0.005	0.004	0.007
	3 ^a	0,004	0,005	0,007			
6	1 ^a	0,006	0,005	0,007			
	2 ^a	0,006	0,005	0,007	0.005	0.005	0.006
	3 ^a	0,004	0,005	0,005			

En la tabla 20, se puede observar los resultados obtenidos en los seis puntos de control, en las componentes, Este, Norte y Vertical Z, configurando el equipo móvil con solución de red y correcciones MAX, obteniendo la desviación estándar y los valores medios de las tres series realizadas.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Para componente Este, la variación se sitúa entre 0.004 - 0.007 m, para componente Norte entre 0.004 - 0.006 m y para componente Vertical Z entre 0.006-0.009 m. Son valores muy similares a los obtenidos utilizando la solución simple, también denominada punto a punto.

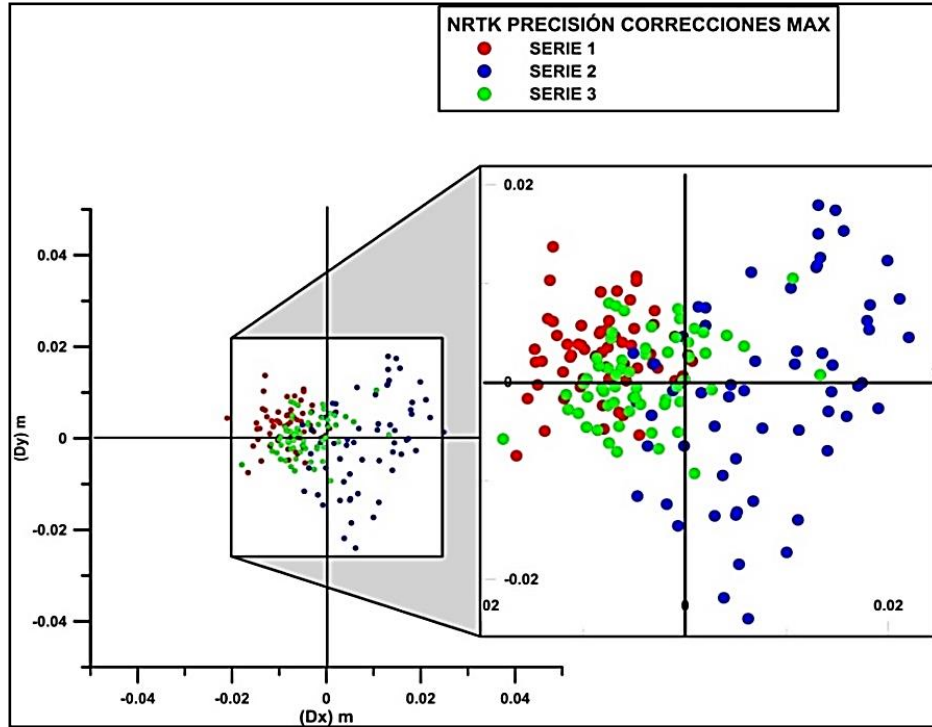


Fig. 38.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones MAX, punto de ensayo 1, componente este y norte. Fuente: autor

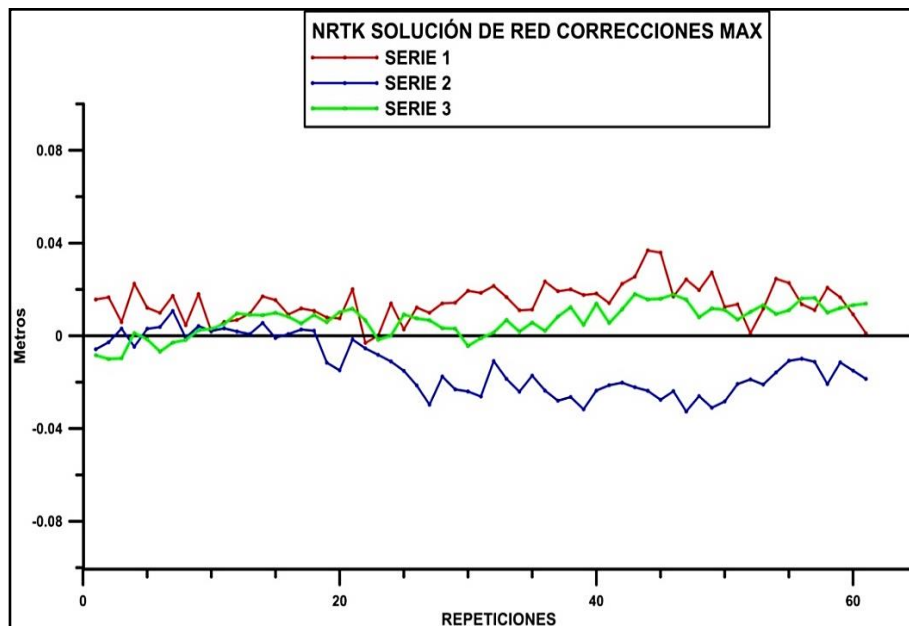


Fig.39.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones MAX, punto de ensayo 1, componente vertical. Fuente: autor

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

En la tabla 21, se exponen los resultados obtenidos para la precisión, en los seis puntos de control utilizando solución de red y configurando el equipo móvil para utilizar correcciones IMAX. Para la componente Este, la variación se sitúa entre 0.004 -0.007 m, para componente Norte está entre 0.004 - 0.005 m y finalmente para componente Vertical Z oscila entre 0.005-0.009 m. valores muy similares a los obtenidos utilizando la solución simple también denominada punto a punto.

Tabla 21.- Precisión NRTK, correcciones IMAX, RAP. Fuente: autor

Punto Control	Serie	σE	σN	σZ	σE Media	σN Media	σZ Media
1	1 ^a	0,004	0,005	0,007	0.005	0.005	0.005
	2 ^a	0,007	0,006	0,004			
	3 ^a	0,004	0,004	0,006			
2	1 ^a	0,005	0,004	0,005	0.007	0.005	0.006
	2 ^a	0,007	0,005	0,008			
	3 ^a	0,008	0,006	0,005			
3	1 ^a	0,003	0,004	0,005	0.004	0.004	0.006
	2 ^a	0,005	0,004	0,006			
	3 ^a	0,004	0,004	0,006			
4	1 ^a	0,004	0,004	0,007	0.004	0.005	0.007
	2 ^a	0,004	0,005	0,007			
	3 ^a	0,005	0,006	0,006			
5	1 ^a	0,004	0,004	0,010	0.006	0.004	0.009
	2 ^a	0,006	0,004	0,008			
	3 ^a	0,007	0,005	0,008			
6	1 ^a	0,004	0,004	0,006	0.004	0.004	0.008
	2 ^a	0,005	0,004	0,010			
	3 ^a	0,004	0,005	0,008			

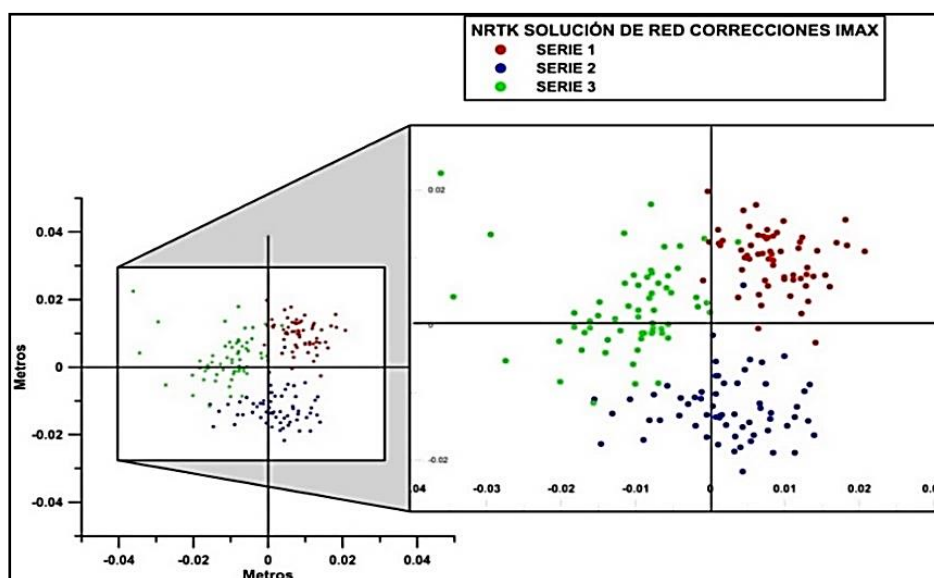


Fig. 40.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución red (NRTK), correcciones IMAX punto 2, componente este y norte. Fuente: autor

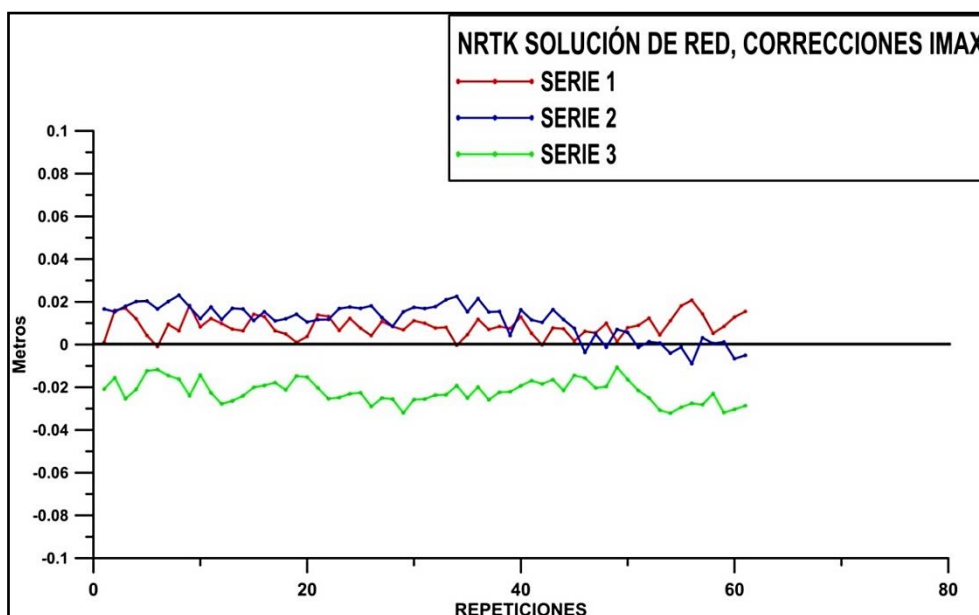


Fig. 41.- Discrepancias respecto al valor más probable, configurando el equipo con solución red (NRTK), correcciones IMAX punto 2, componente vertical. Fuente: autor

Tabla 22.- Variaciones de la precisión utilizando diferentes soluciones. Fuente: autor

Solución	Variación X	Variación Y	Variación Z
Simple	0,006 - 0,007	0,006 - 0,007	0,008 - 0,013
Correcciones MAX	0,004 - 0,007	0,004 - 0,006	0,006 - 0,009
Correcciones IMAX	0,004 - 0,007	0,004 - 0,005	0,005 - 0,009

En la tabla 22, se observa la variabilidad de la precisión en los seis puntos de control. Los resultados obtenidos en las soluciones de red utilizando correcciones MAX e IMAX son prácticamente iguales para las tres componentes, sin embargo, en la solución simple las componentes Este y Norte presentan diferencias de algún milímetro respecto a las de solución de red, estando entre 3 y 4 milímetros en la componente Vertical Z.

4.3.2.- EXACTITUD

Para determinar la exactitud, obtenemos las coordenadas de los puntos de control mediante posicionamiento estatico. La precisión de estas coordenadas dependerá del tiempo de observación que, en este caso, ha sido de 60 minutos. Posteriormente, se realiza la toma con las diferentes soluciones ofrecidas por la RAP en tiempo real. La exactitud la obtenemos comparando las coordenadas obtenidas en tiempo real por el equipo móvil, con las determinadas mediante posicionamiento estatico y dependerá de la precisión de las coordenadas asignadas a estos puntos de control. Posteriormente se realiza un postproceso con software comercial Geooffice de Leica. (Hexagon AB, Stockholm, Suecia).

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Para obtener el parámetro exactitud, se aplican diferentes soluciones: solución simple y solución de red concepto MAC, correcciones MAX e IMAX.

Tabla 23.- Coordenadas asignadas a los diferentes puntos de control. Fuente: autor

ID PUNTO	COMPONENTE ESTE	COMPONENTE NORTE	COMPONENTE VERTICAL
1	308700,275	4240638,598	566,000
2	308703,099	4240601,784	566,050
3	308699,545	4240577,129	565,936
4	301621,970	4233046,343	547,227
5	301596,533	4233062,955	547,133
6	301574,782	4233077,299	547,351

En la tabla 23, podemos ver las coordenadas asignadas a los puntos de control después del postproceso.

Tabla 24.- Exactitud solución simple RTK. Fuente: autor

<i>RAP RTK SOLUCIÓN SIMPLE</i>					
Punto Control	Exactitud (m)	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Valor medio
1	H	0.012	0.015	0.011	0.013
	V	0.011	0.014	0.015	0.013
2	H	0.019	0.016	0.008	0.014
	V	0.011	0.007	0.021	0.013
3	H	0.028	0.008	0.008	0.015
	V	0.025	0.019	0.013	0.019
4	H	0.018	0.014	0.014	0.015
	V	0.013	0.009	0.010	0.011
5	H	0.012	0.007	0.019	0.013
	V	0.009	0.017	0.034	0.020
6	H	0.015	0.021	0.019	0.018
	V	0.022	0.015	0.023	0.020

En la tabla 24, se pueden observar las diferencias entre la solución de posproceso y las soluciones obtenidas configurando el equipo con solución simple, en las tres series realizadas, en los 6 puntos de control en posición y altura, así como, los valores medios de las tres series realizadas.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

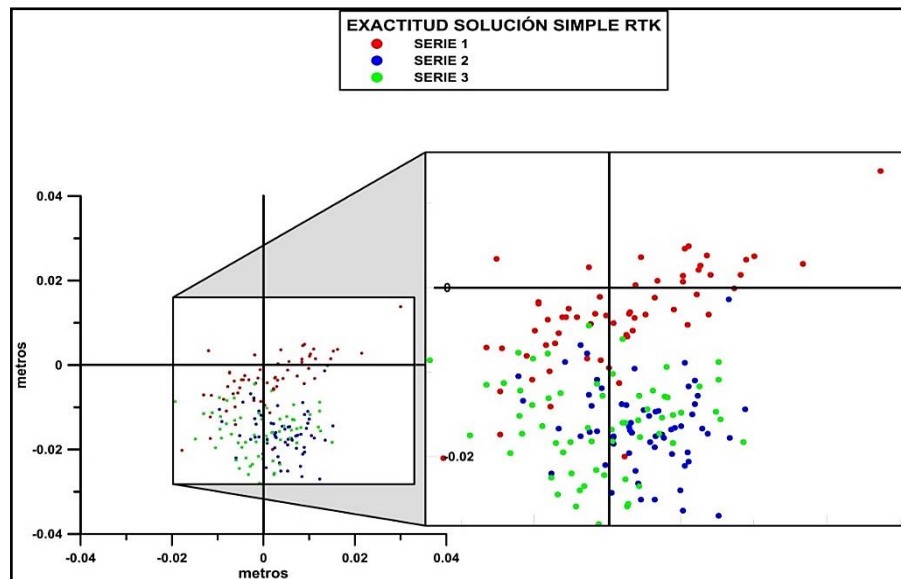


Fig. 42.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con Solución Simple (RTK), punto 5, componente este y norte.

Fuente: autor

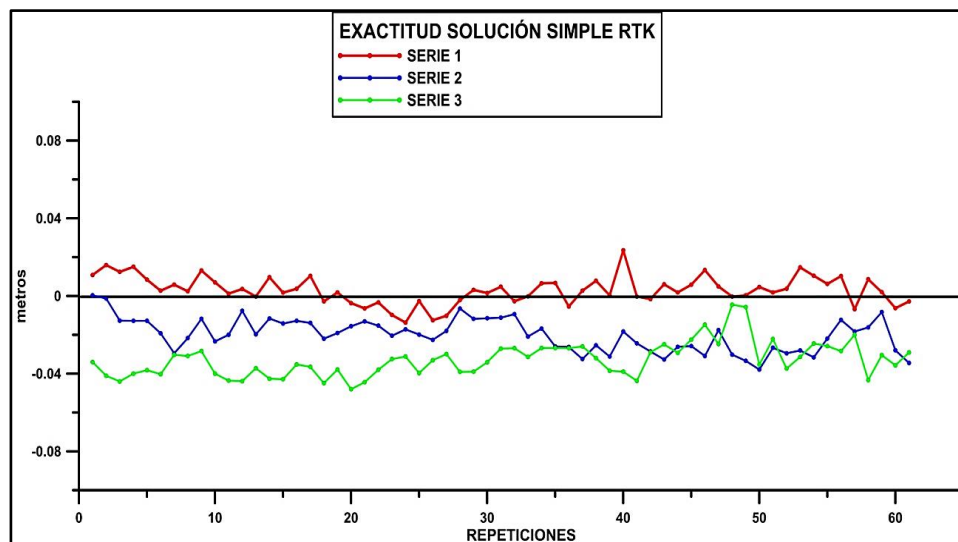


Fig. 43.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución simple (RTK), punto de control 5, componente vertical.

Fuente: autor

Tabla 25.- Exactitud Solución de Red correcciones MAX. Fuente: autor

<i>RAP NRTK SOLUCIÓN DE RED (MAX)</i>					
Punto Control	Exactitud (m)	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Valor medio
1	H	0,013	0,021	0,011	0,015
	V	0,018	0,017	0,018	0,018
2	H	0,013	0,013	0,012	0,013
	V	0,009	0,025	0,017	0,017
3	H	0,012	0,015	0,017	0,015
	V	0,020	0,020	0,040	0,027
4	H	0,009	0,011	0,016	0,012
	V	0,031	0,021	0,017	0,023
5	H	0,014	0,021	0,013	0,016
	V	0,020	0,020	0,021	0,020
6	H	0,014	0,020	0,017	0,017
	V	0,023	0,008	0,005	0,012

En la tabla 25, vemos las diferencias entre la solución de posproceso y las coordenadas obtenidas configurando el equipo con correcciones MAX, para los 6 puntos de prueba, en posición y altura, así como, el valor medio obtenido.

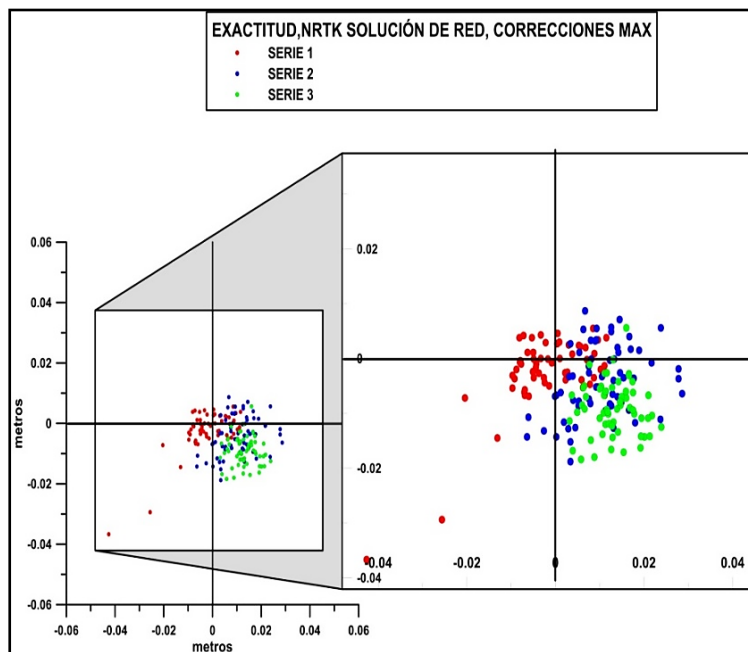


Fig. 44.-Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK) correcciones MAX, punto de control 3, componentes este, norte. Fuente: autor

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

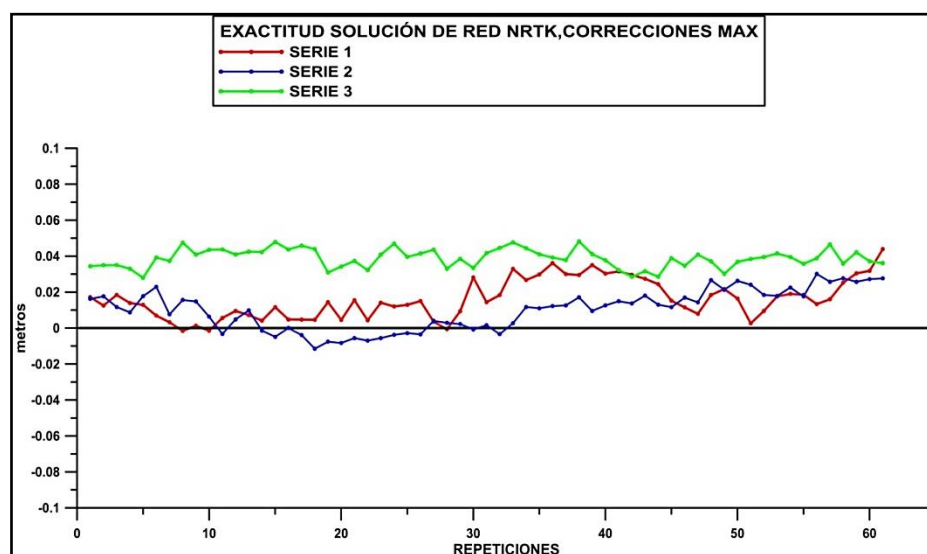


Fig. 45.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones MAX, punto de control 3, componente vertical. Fuente: autor

Tabla 26.- Exactitud solución de red, correcciones IMAX

<i>RAP NRTK SOLUCIÓN DE RED (IMAX)</i>					
Punto Control	Exactitud (m)	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Valor medio
1	H	0,021	0,013	0,021	0,018
	V	0,009	0,004	0,070	0,027
2	H	0,013	0,017	0,019	0,016
	V	0,006	0,009	0,030	0,015
3	H	0,006	0,013	0,022	0,014
	V	0,014	0,017	0,025	0,019
4	H	0,010	0,015	0,012	0,012
	V	0,036	0,023	0,025	0,028
5	H	0,008	0,023	0,034	0,022
	V	0,011	0,015	0,030	0,019
6	H	0,009	0,027	0,025	0,020
	V	0,049	0,027	0,013	0,030

En la tabla 26, vemos las diferencias entre la solución de posproceso y las coordenadas obtenidas configurando el equipo con correcciones I- MAX, para los 6 puntos de prueba, en posición y altura, así como, el valor medio obtenido en cada una de las series.

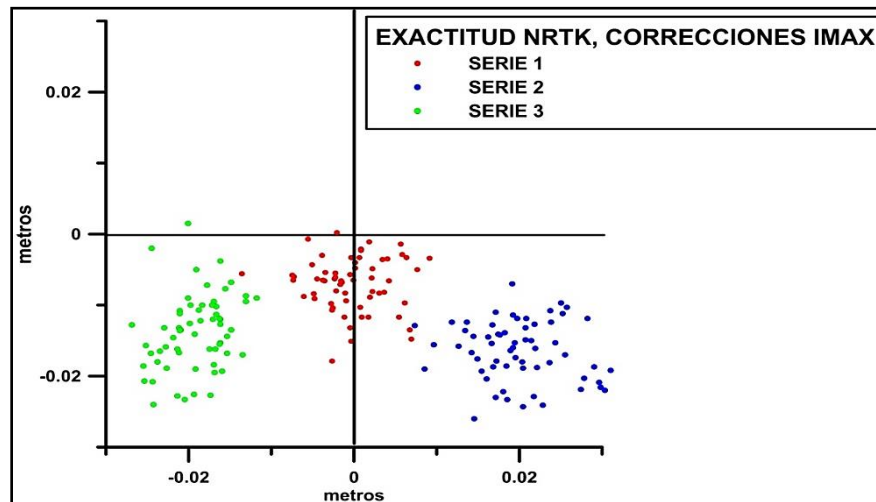


Fig. 46.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones IMAX, punto de control 6, componentes este y norte. Fuente: autor

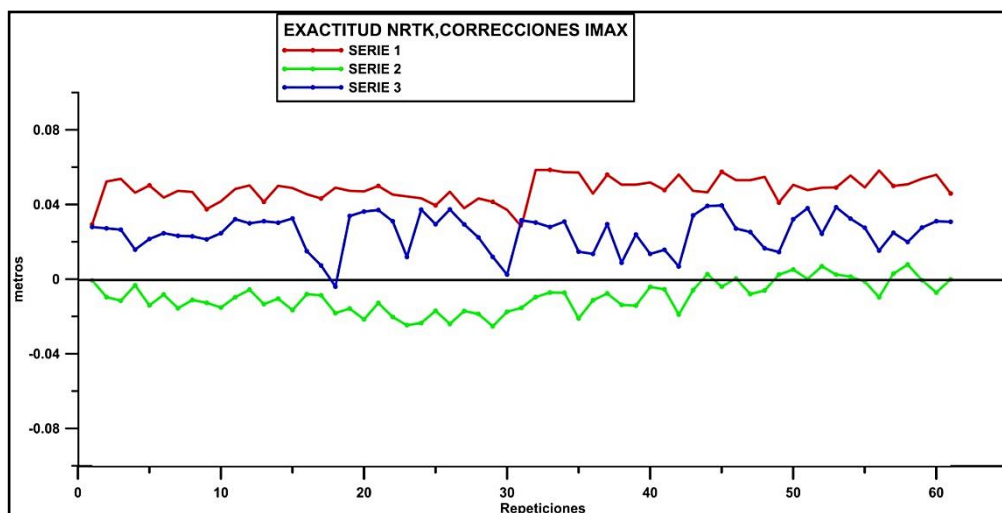


Fig. 47.- Discrepancias respecto a la solución de posproceso, configurando el equipo con solución de red (NRTK), correcciones IMAX, punto de control 6, componente vertical. Fuente: autor

Tabla 27.- Variabilidad de la exactitud en posición y altura. Fuente: autor

Solución	Variación Posición	Variación Altura
Simple	0,013 - 0,018	0,011 - 0,020
Correcciones MAX	0,012 - 0,017	0,012 - 0,027
Correcciones IMAX	0,012 - 0,022	0,015 - 0,030

En la tabla 27 se muestran los resultados del parámetro exactitud, se aplican diferentes soluciones, obteniendo (0,016 - 0,016), (0,015 - 0,020), (0,17 - 0,023) m para solución simple, correcciones MAX y Correcciones IMAX, en posición y en altura respectivamente.

4.3.3. REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

Tomado diferentes puntos de control desde tres estaciones de la R.A.P. (Pozoblanco, Cazalla, Córdoba) y aplicando la norma UNE82009-2: 1999, pretendemos determinar cuáles son los valores de reproducibilidad y repetibilidad del sistema.

Antes de comenzar con el cálculo de estos valores, se realizó un estudio de consistencia e incompatibilidad de los datos obtenidos, se representaron para observar si seguían una distribución normal, utilizando la aplicación IBM-SPSS, se realizaron diferentes test estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad, gráficos, cálculo de diferentes estimadores robustos etc. El estudio se realizó a todos los datos desde las distintas estaciones En la tabla 28 y en las siguientes figuras, se pueden observar algunos ejemplos.

Tabla 28.- Diferentes estimadores M, toma nivel 1, desde estación de Pozoblanco. Fuente: autor

	Estimador-M de Huber^a	Biponderado de Tukey^b	Estimador-M de Hampel^c	Onda de Andrews^d
COORDENADA X	308700,27756	308700,27746	308700,27763	308700,27746
COORDENADA Y	4240638,60079	4240638,60096	4240638,60073	4240638,60096
COORDENADA Z	565,99702	565,99717	565,99661	565,99717

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

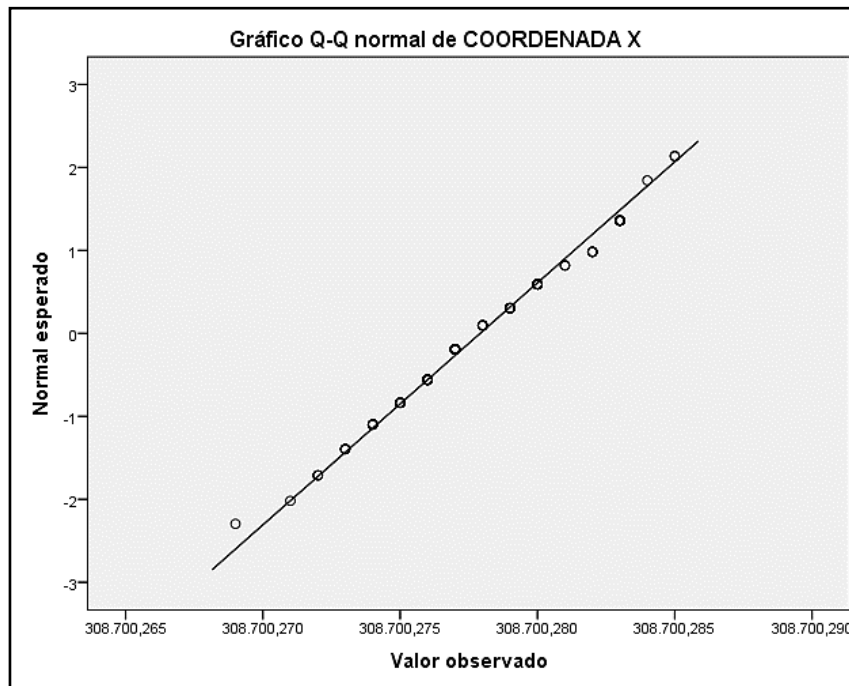


Fig. 48.- Gráfico Q-Q normal, toma de Nivel 1, desde estación de Pozoblanco.
Fuente: IBM-SPSS

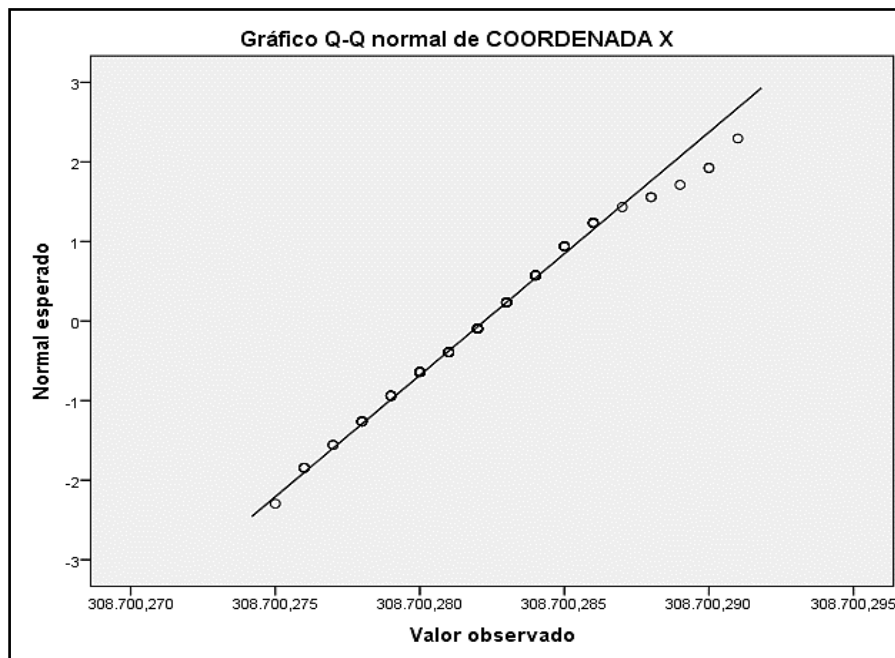


Fig. 49.- Gráfico Q-Q normal, toma de Nivel 1, desde estación de Cazalla.
Fuente: IBM-SPSS

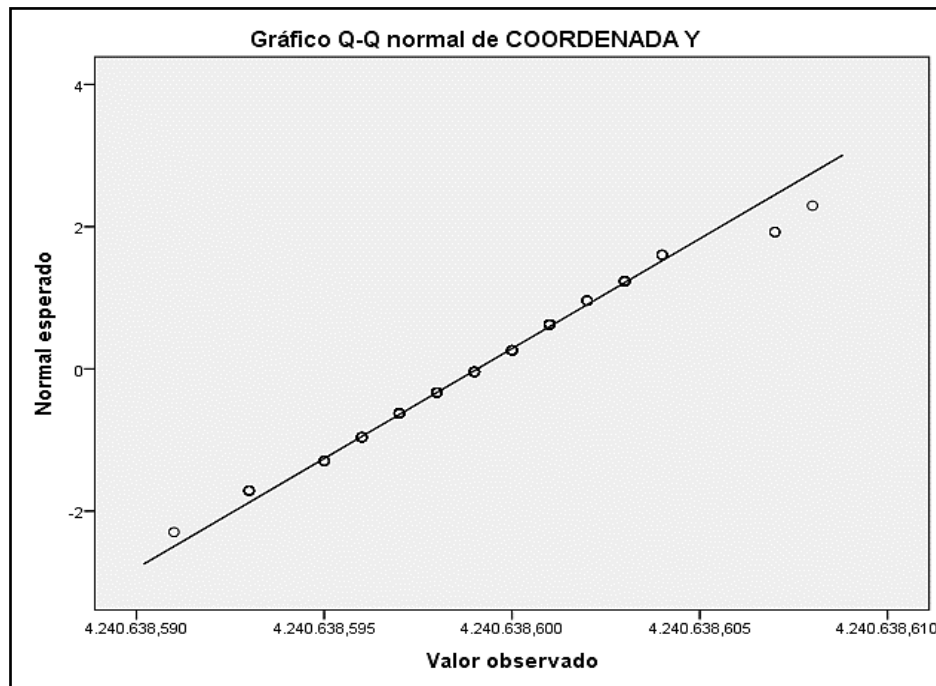


Fig. 50.- Gráfico Q-Q normal, toma de Nivel 1, desde estación de Córdoba.
Fuente: IBM-SPSS

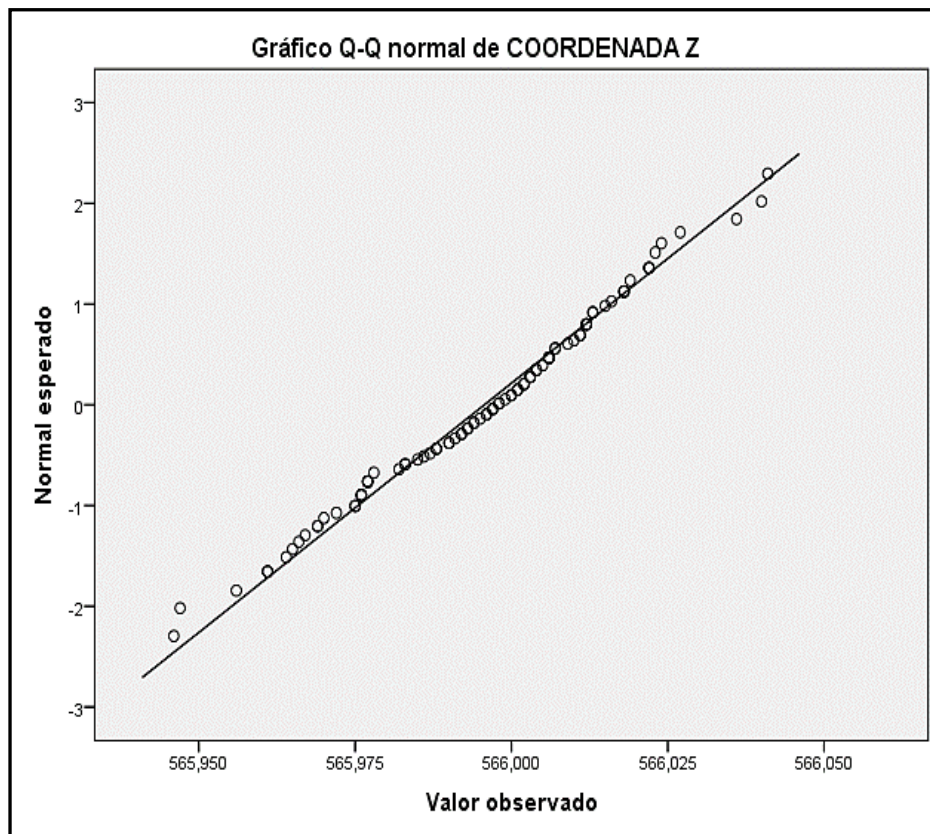


Fig.51.- Gráfico Q-Q normal, toma de Nivel 1, desde estación de Pozoblanco.
Fuente: IBM-SPSS

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

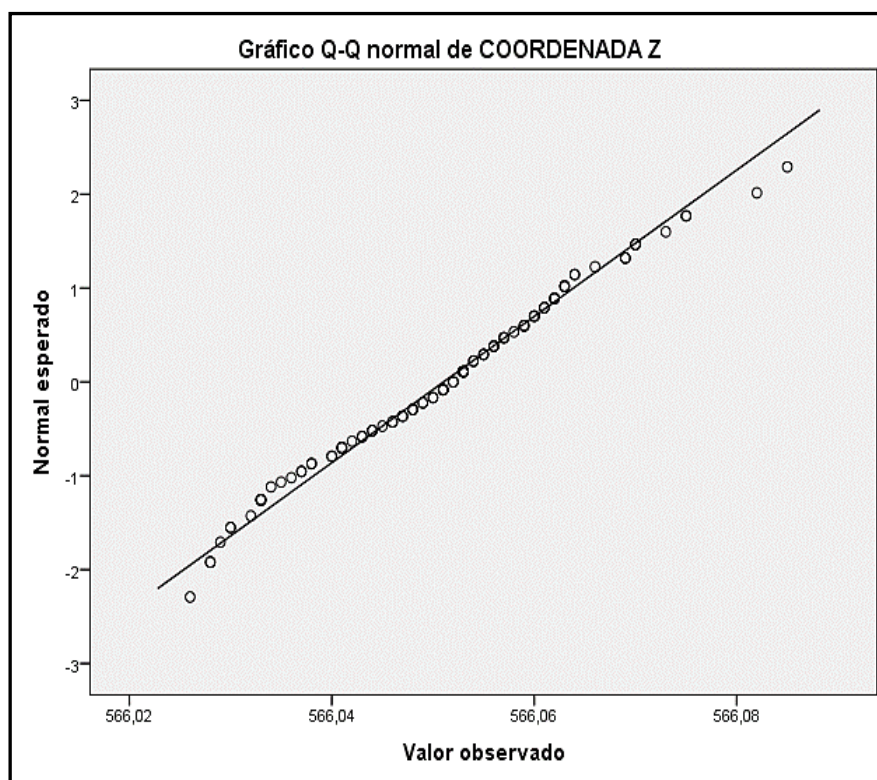


Fig. 52.- Gráfico Q-Q normal, toma de Nivel 1, desde estación de Córdoba.
Fuente: IBM-SPSS

Después de la representación y obtención de gráficos QQ normal, de todas las tomas realizadas desde los tres laboratorios (Pozoblanco, Cazalla y Córdoba), se comprueba que los datos recogidos siguen una distribución normal, lo que, según la norma no se detecta ningún dato incompatible o aberrante, eso significa que se utilizarán todos los datos recogidos para la determinación de repetibilidad y reproducibilidad. Se determinó la media de cada laboratorio.

En la tabla 29 se observa el promedio obtenido en la componente este utilizando los noventa datos, desde los tres laboratorios, en los seis niveles ensayados, así como, la media general en cada nivel de control.

Tabla 29.- Media de cada laboratorio y media general en cada nivel de control. Fuente: autor

Laboratorios	Niveles Ensayados					
	1	2	3	4	5	6
Córdoba	308700,270	308703,095	308699,544	301621,952	301596,535	301574,783
Pozoblanco	308700,277	308703,095	308699,542	301621,966	301596,529	301574,780
Cazalla	308700,282	308703,102	308699,540	301621,970	301596,542	301574,792
Media General	308700,276	308703,097	308699,542	301621,963	301596,535	301574,785

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

Seguidamente se determina la varianza de cada laboratorio y varianza de repetibilidad, como la media aritmética de las varianzas de todos los laboratorios que intervienen.

En la tabla 30, se reflejan el valor estimado de varianza de laboratorios y varianza de repetibilidad, para cada uno de los niveles ensayados.

Tabla 30.- Valor estimado de varianza de laboratorios y varianza de repetibilidad. Fuente: autor

Laboratorios	Niveles Ensayados					
	1	2	3	4	5	6
CÓRDOBA	6,42738E-06	8,94882E-06	8,8008E-06	1,9232E-05	7,8741E-06	9,2591E-06
POZOBLANCO	6,09157E-06	9,8602E-06	6,8329E-06	5,2441E-06	1,5114E-05	2,1745E-05
CAZALLA	1,07974E-05	2,65903E-05	1,6231E-05	1,152E-05	3,2085E-05	1,2954E-05
VARIANZA DE REPETIBILIDAD	7,77212E-06	1,51331E-05	1,0621E-05	1,1999E-05	1,8357E-05	1,4653E-05

A continuación, se determina el valor estimado de la varianza interlaboratorios. En la tabla 31, quedan reflejados los datos obtenidos desde los tres laboratorios implicados en los seis niveles ensayados.

Tabla 31.- Valor estimado varianza interlaboratorios. Fuente: autor

Laboratorios	Niveles Ensayados					
	1	2	3	4	5	6
CÓRDOBA	4,01111E-05	5,44444E-06	4E-06	0,00011264	1,1111E-07	4E-06
POZOBLANCO	4,44444E-07	5,44444E-06	3,3881E-21	1,147E-05	4,0111E-05	2,5E-05
CAZALLA	3,21111E-05	2,17778E-05	4E-06	5,2225E-05	4,4444E-05	4,9E-05
Sdj²	0,00327	0,00147	0,00036	0,00793517	0,00381	0,00351
VARIANZA INTERLABORATORIOS	3,6247E-05	1,61652E-05	3,882E-06	8,8035E-05	4,2129E-05	3,8837E-05

Y finalmente, se calcula la varianza de reproducibilidad y valores de repetibilidad y reproducibilidad. En la tabla 32, se observan los valores de la componente este para los seis niveles ensayados.

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

Tabla 32.- Valor estimado varianza de reproducibilidad, repetibilidad y reproducibilidad.

Fuente: autor

Laboratorios	Niveles Ensayados					
	1	2	3	4	5	6
VARIANZA DE REPRODUCIBILIDAD	4,40191E-05	3,12983E-05	1,4503E-05	0,00010003	6,0487E-05	5,349E-05
REPETIBILIDAD	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004
REPRODUCIBILIDAD	0,007	0,006	0,004	0,010	0,008	0,007

De igual forma, determinamos los valores de repetibilidad y reproducibilidad para la componente norte y vertical Z. En la tabla 33, se observa los valores de Repetibilidad y Reproducibilidad para los seis niveles ensayados, para las componentes Este, Norte y vertical Z.

Tabla 33.- Valores de repetibilidad y reproducibilidad en las tres componentes. Fuente: autor

Nivel	Componente Este		Componente Norte		Componente Z	
	Repetibilidad	Reproducibilidad	Repetibilidad	Reproducibilidad	Repetibilidad	Reproducibilidad
1	0,003	0,007	0,004	0,012	0,012	0,030
2	0,004	0,006	0,004	0,005	0,017	0,038
3	0,003	0,004	0,004	0,006	0,016	0,035
4	0,003	0,010	0,005	0,010	0,009	0,043
5	0,004	0,008	0,005	0,008	0,010	0,023
6	0,004	0,007	0,005	0,010	0,013	0,029

Tabla 34.- Valores de repetibilidad y reproducibilidad. Fuente: autor

Nivel de Control	Repetibilidad		Reproducibilidad	
	Posición	Altura	Posición	Altura
1	0,005	0,012	0,014	0,031
2	0,006	0,017	0,007	0,038
3	0,005	0,016	0,007	0,036
4	0,006	0,009	0,014	0,043
5	0,006	0,010	0,011	0,023
6	0,006	0,013	0,013	0,029
Promedio	0,006	0,013	0,011	0,033

La tabla 34 muestra los valores de repetibilidad y reproducibilidad en posición y altura, de los seis niveles ensayados, así como, el promedio obtenido. Los valores de repetibilidad varían entre (0,005 - 0,006) en posición y (0,01 - 0,017) en altura. El

resultado de la reproducibilidad oscila entre (0,007 - 0,014) y (0,029 - 0,043) en posición y altura respectivamente.

En las fig. 53 y 54 se puede observar, la diferencia entre la media general y las posiciones obtenidas desde cada laboratorio en el nivel de ensayo 4, utilizando solución simple desde la estación seleccionada, para las componentes este, norte y vertical.

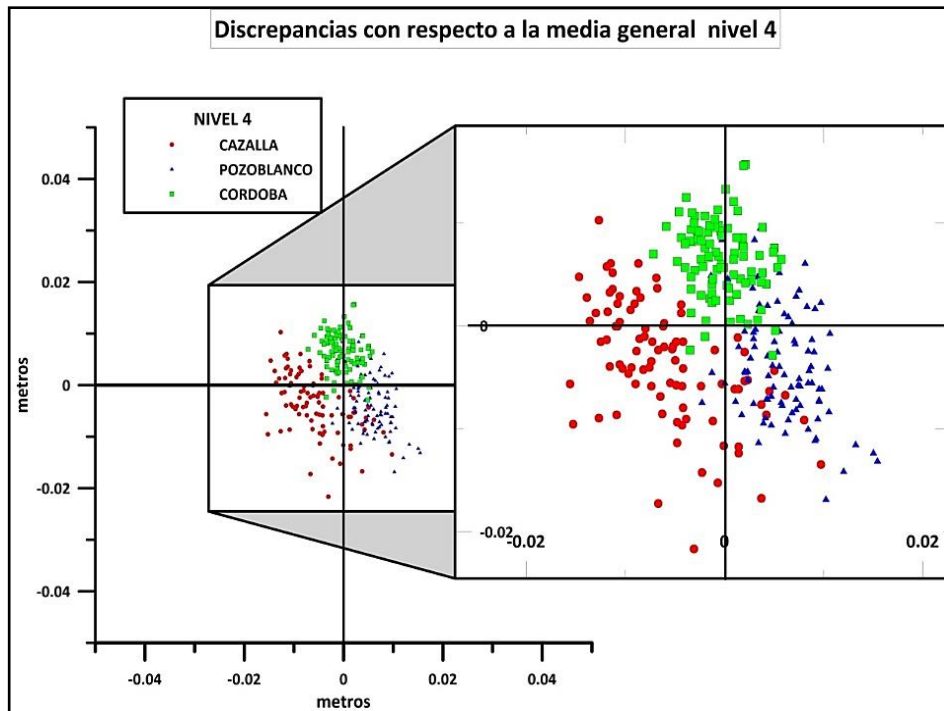


Fig. 53.- Diferencias respecto a la media general, configurando el equipo con solución simple desde la estación seleccionada, nivel de control 4. Fuente: autor

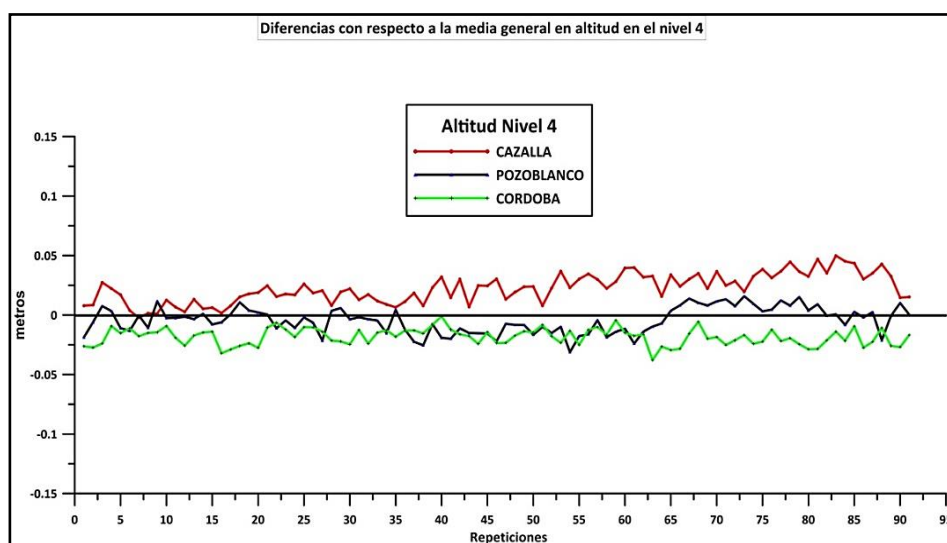


Fig. 54 .-Diferencias respecto a la media general, configurando el equipo con solución simple desde la estación seleccionada, nivel de control 4. Fuente: autor

4.3.4.- RENDIMIENTO EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

4.3.4.1.-Tiempo de Resolución de Ambigüedades

Como se observa en la Fig. 55, el equipo utilizado para la realización de este trabajo necesita, una media de 51" para inicializarse y recibir señal de la constelación, 21" en conectar con el centro de control de la red con precisión para realizar las observaciones y unos 12" en recuperar la precisión cuando se produce una pérdida de solución fija.

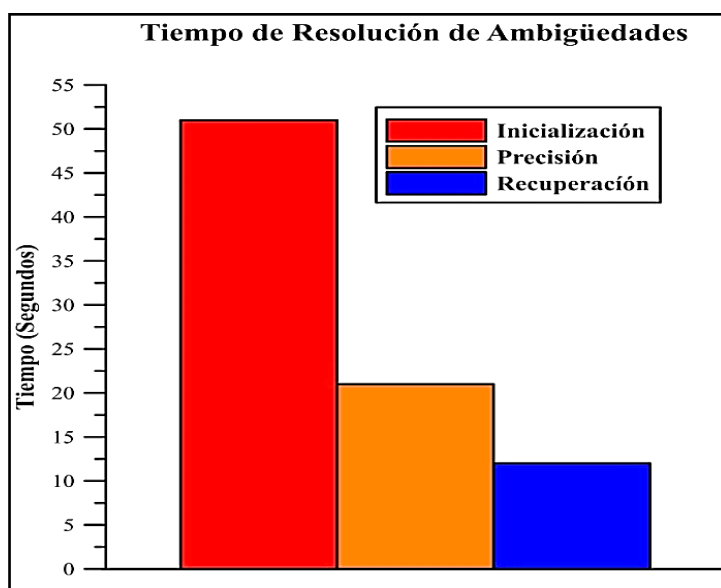


Fig. 55.-Tiempo de resolución de ambigüedades:
Fuente: autor

4.3.4.2.- Rendimiento en el Levantamiento

En este punto, se analiza el rendimiento del sistema en la realización de un levantamiento topográfico. Una vez conocido el rango en el que se sitúan los valores de precisión y exactitud, se analiza el levantamiento en su conjunto, en relación a, tiempo empleado en la toma de un punto de interés, calidad y cortes del sistema, errores de las coordenadas de los puntos tomados.

Analizando los datos de tiempos de observación y coordenadas de todos los levantamientos realizados, se podrá obtener el porcentaje de puntos que son tomados en un tiempo determinado, así como, la calidad media en la toma de todos los puntos.

En la Fig. 56, vemos, el porcentaje de puntos que se toman en, menos de cinco segundos, en menos de diez y en más de diez, así como, el tiempo que corresponde a la caída de datos con la consecuente pérdida de fase y solución.

"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "

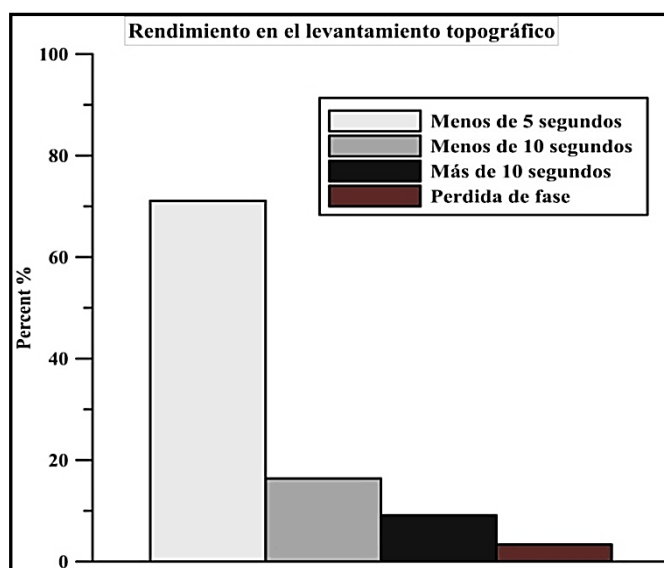


Fig. 56.- Rendimiento en el levantamiento Topográfico: Fuente: autor

En la Fig. 57, se sitúa en el eje de abscisas los distintos levantamientos y en el eje de ordenadas la calidad en posición más altura, con la que se han tomado los puntos de todos los levantamientos topográficos realizados.

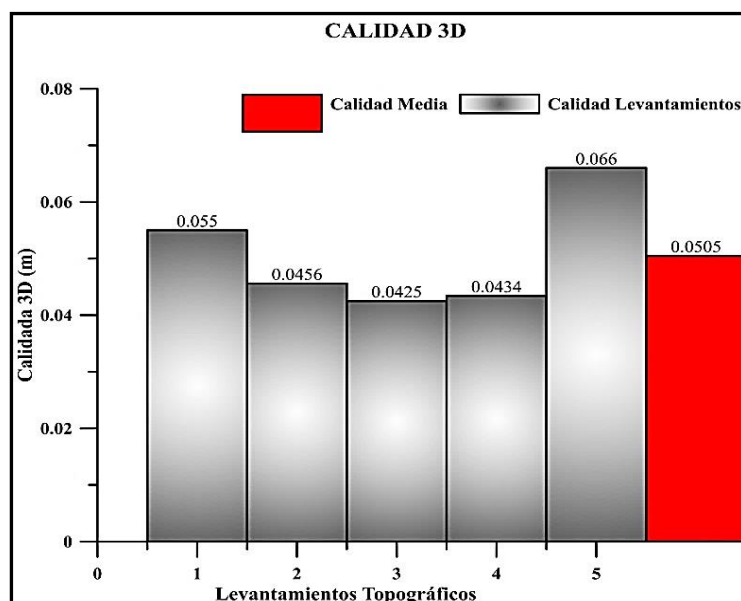


Fig. 57.- Rendimiento en el levantamiento y calidad 3D. Fuente: autor

4.4.- RESULTADOS

En este trabajo, se han evaluado los servicios ofrecidos por la (R.A.P.) Red Andaluza de Posicionamiento, Activa y regional, situada en la Comunidad Autónoma de Andalucía, en el sur de España. Se realizaron diferentes pruebas, unas dirigidas a caracterizar la red determinando parámetros como, precisión, exactitud y determinación de la repetibilidad y reproducibilidad y otros relacionados con, el rendimiento ofrecido por la red en el

levantamiento topográfico, en cuanto a, toma de datos, tiempo de adquisición de los mismos, calidad del sistema y procesamiento de datos.

Con los datos obtenidos, se ha podido comprobar que las precisiones son similares a las obtenidas con un levantamiento RTK convencional. Los valores medios de precisión para los diferentes puntos de control, utilizando solución simple en las componentes este, norte y vertical son de, 0,006 - 0,006 - 0,015m respectivamente, en posición (3D) 0,017m. Los datos obtenidos aplicando solución de red (NRTK), con soluciones MAX o IMAX, para las componentes este, norte y vertical son de 0,005 - 0,005 - 0,007 m respectivamente, en posición (3D) 0,011m. Los resultados obtenidos utilizando, solución simple (punto a punto) y soluciones red son similares, aunque ésta última ofrece soluciones más homogéneas.

Si comparamos el método estático, utilizado para obtener las coordenadas asignadas a los puntos de control, con el de toma en (RTK), la exactitud alcanzada en la determinación de dichas coordenadas es alta. Los valores medios de exactitud para los seis puntos de control utilizando solución simple, en las componentes horizontal y vertical son: 0,016 y 0,016m, respectivamente, en posición (3D) 0,023m. Configurando el equipo con soluciones de red correcciones MAX, los resultados en las componentes horizontal y vertical son 0,015 - 0,02m respectivamente, en posición (3D) 0,025m. Utilizando correcciones IMAX, los resultados obtenidos en las componentes horizontal y vertical son: 0,017 - 0,023m respectivamente, en posición (3D) 0,029m. Las correcciones IMAX, son las que presentan resultados ligeramente peores, con diferencias de siete y cinco milímetros, respecto a la solución simple y correcciones MAX, respectivamente.

Aplicando la norma UNE8002009-2 Exactitud, veracidad y precisión de resultados y métodos de medición AENOR 1999, los resultados obtenidos de los parámetros de repetibilidad y reproducibilidad, para los diferentes niveles ensayados son los siguientes: en repetibilidad, de 0,006 a 0,013m en posición y altura respectivamente, en posición (3D) 0,014m y en reproducibilidad de 0,011 a 0,033m en posición y altura respectivamente, en posición (3D) 0,035 m. La norma considera la repetibilidad y reproducibilidad como dos tipos de precisión para determinar la variabilidad de un método de medición, siendo ambas, los extremos de la precisión, la repetibilidad caracteriza la menor variación y la reproducibilidad la máxima. Para posición, tendríamos una variabilidad de precisión entre 0,006 y 0,011m y para altura 0,013 a 0,035m resultados muy favorables en posición y algo peores en altura.

En relación al rendimiento en el levantamiento topográfico según los resultados obtenidos, se ha podido comprobar que las precisiones y tiempo de resolución de ambigüedades, obtenidas utilizando una red de GNSS permanente es similar a las obtenidas utilizando RTK convencional. El sistema muestra buena estabilidad y proporciona soluciones homogéneas, aunque los datos hayan sido tomados en épocas diferentes y se obtengan desde estaciones de referencia distintas.

CAPÍTULO V.- APLICACIONES EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA.

5.1.- INTRODUCCIÓN

La topografía, juega un importante papel en el desarrollo de proyectos de Ingeniería y está presente en todas las fases en que se divide, desde su elaboración, comprobación, construcción, hasta la liquidación final. Es la responsable, de controlar que la ejecución del proyecto, sea coincidente con las características geométricas del diseño proyectado, por lo que, es necesario la utilización de métodos y la instrumentación adecuada que permita, un trabajo dinámico y con precisión suficiente para conseguir la calidad requerida.

Si bien, la topografía en general no ha experimentado grandes cambios desde un punto de vista conceptual, el desarrollo de la instrumentación en la década de los 70, junto con el avance de la informática y la electrónica, permitió la incorporación de distanciómetros que, empleados junto con equipos ópticos, derivaron en el uso de la semiestación total y estación total, todo ello, encaminado hacia la toma automática de datos. De este modo, el uso de la distancimetría supuso un cambio sustancial en cuanto a la aplicación de métodos topográficos se refiere, dejando atrás, las aproximaciones de los métodos estadimétricos.

Sin duda alguna, la puesta en servicio de los sistemas de navegación por satélite (GNSS) a partir de 1980 del siglo pasado, supondrían una autentica revolución en el campo de la topografía y la geodesia, ofreciendo distintas técnicas de posicionamiento, desde el desarrollo de métodos de corrección diferencial, hasta técnicas de toma de datos en Tiempo Real RTK, (Real Time Kinematik).

El levantamiento cinemático en tiempo real, permite la utilización de sistemas de navegación por satélite en, trabajos topográficos en el campo de la ingeniería. Para su aplicación se necesitan dos receptores, uno que se sitúa en una referencia fija y otro denominado móvil, que se desplaza por los puntos de interés, además de, un sistema de comunicación generalmente de radio para enviar correcciones al equipo móvil. Las precisiones conseguidas pueden llegar al centímetro.

Dependiendo de la calidad espacial requerida por el usuario, los sistemas GNSS pueden ser aplicados desde, trabajos de observación de redes topográficas, como en levantamientos y replanteos topográficos.

Aunque, con la aplicación de métodos en tiempo real se consiguen altas prestaciones y precisiones, tiene algunas limitaciones, la solución ofrecida pierde calidad a medida que aumenta la distancia entre el receptor fijo y el móvil, la comunicación entre los equipos se ve afectada con la distancia entre los receptores, teniendo un límite en función de la radio utilizada y también, pueden sufrir pérdidas de la señal debido a efectos provocados por la orografía del terreno.

Estas limitaciones producen en el trabajo diario una pérdida de efectividad, ya que, hay que trasladar la referencia cuando la separación con el móvil se acerque a los 10 km, habría que estacionar el equipo y volver a configurarlo para continuar los trabajos. Actualmente, para la ejecución de cualquier proyecto, es necesario la colocación de bases, dependiendo su situación geométrica de la longitud del proyecto, también se realizará la comprobación de la red. Si se utiliza estación total, es necesario que exista intervisibilidad entre bases y si se utilizan técnicas de navegación por satélite la distancia entre bases deberá ser menor de 15km.

La ejecución del proyecto comienza por la fase de comprobación, para ello, necesitamos localizar las bases del proyecto y abordar los trabajos de replanteo, esta tarea es una de las más importantes a la que quedan relegados los trabajos topográficos. Tanto, si se utiliza estación total como si, se aplican técnicas cinemáticas en tiempo real RTK, habrá que estacionar, orientar y replantear, hasta la distancia que nos permita la visibilidad del bastón o hasta una distancia menor de 15Km, según se utilice un sistema u otro, e ir repitiendo estas actuaciones sucesivamente.

La situación deseada por un Ingeniero sería, disponer de un sistema de trabajo que superara todas estas limitaciones; el método ideal tendría gran rendimiento, sin necesidad de realizar cálculos, estacionamientos y configuraciones continuamente y a su vez, que alcanzara la calidad posicional suficiente, exigida en la construcción de proyectos de Ingeniería, manteniendo el coste económico en el mínimo posible.

En este capítulo, se presentan diferentes trabajos que se realizan en Ingeniería Civil y Minería. Los resultados obtenidos y mostrados en el capítulo anterior, nos permiten determinar el grado de aplicación que pueden tener, las soluciones ofrecidas por una red geodésica activa en el campo de estas Ingenierías.

5.2.- INGENIERÍA CIVIL

La ingeniería civil se ocupa del diseño, construcción y mantenimiento de las infraestructuras emplazadas en el entorno, su campo de aplicación es muy amplio, como p.ej., las infraestructuras del transporte: carreteras, autovías, autopistas, ferrocarriles, puertos, puentes etc., y las obras hidráulicas: alcantarillado, canales de navegación, presas, canalizaciones de agua potable, depuradoras etc.

En la ejecución de un proyecto de ingeniería civil, la topografía está presente desde la redacción del proyecto de construcción hasta de la ejecución total del mismo. Para ejecutarlo, el trabajo se divide en varias fases: comprobación, ejecución y liquidación. Pongamos como ej. la ejecución del proyecto de una obra lineal.

5.2.1.- COMPROBACIÓN

En esta fase, se realiza la comprobación de las unidades más importantes del proyecto, mediciones de tierras, hormigón, comprobación del trazado, servicios afectados

etc. Es necesario, comenzar con los trabajos de replanteo del eje y la toma de transversales, se se utiliza una red geodésica activa proporcionaría un alto rendimiento económico, al utilizar como bases las antenas de la red, no habría estacionamientos continuos, ni cálculos de replanteos previos, se pasa el proyecto a la controladora y se va situando el eje a un intervalo constante y tomando datos de forma continua. La precisión y exactitud obtenidas y reflejadas en el capítulo IV, son más que suficientes para la realización de estos trabajos.

5.2.2.- EJECUCIÓN

La fase de ejecución se divide en: trabajos preliminares o desbroce, movimiento de tierras y capas de firme.

5.2.2.1.- Desbroce

Consiste en extraer y retirar de las zonas designadas, los árboles, tocones, plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable, según el Proyecto, o a juicio del Director de Obra. La ejecución de esta operación incluye las siguientes operaciones: Remoción de los materiales objeto de desbroce, retirada y extendido de los mismos en su emplazamiento definitivo. Debe retirarse la tierra vegetal de las superficies de terreno afectadas por excavaciones o terraplenes, según las profundidades definidas en el Proyecto y verificadas o definidas durante la obra. (*Artículo, 300 Desbroce del terreno, del Pliego de prescripciones Técnicas (PG3)*)

El trabajo topográfico en esta unidad consiste en, la designación o marcado de los bordes de la traza, este borde, es necesario colocarlo a un intervalo constante, normalmente, se crea un desplazamiento en dirección del perfil transversal en ambos lados, para que quede definido el ancho total de la traza y poder ejecutar perfectamente la unidad. El replanteo, queda reducido a un replanteo planimétrico, no es necesario realizar el altimétrico.

5.2.2.2.- Movimiento de Tierras

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para, excavar y nivelar las zonas donde ha de asentarse la carretera, incluyendo: plataforma, taludes y cunetas, así como, zonas de préstamos previstos o autorizados y el consiguiente transporte de los productos removidos al depósito o lugar de empleo (Artículo 320 PG3). Una vez liberada y marcada la traza, comienza el replanteo de los bordes de talud, esto permite, iniciar el movimiento de tierras. La actividad topográfica consiste en definir, las zonas de desmonte y terraplén del trazado. Se debe tener en cuenta la sección tipo, donde se define la plataforma los taludes de desmonte, terraplén y cunetas, además de calcular el ancho de la plataforma en la coronación de tierras. Es necesario, situar donde comienza los desmontes y los terraplenes, además, se deberá definir qué cantidad tenemos que bajar o subir para encontrar la rasante de tierras. Para ello, se realiza un replanteo planimétrico y altimétrico,

se comienza por replantear el ancho y tomar cota en este punto, hacer la diferencia con la rasante de tierras en este perfil y desplazar el ancho según el talud proyectado, es decir, buscar en cada perfil, la intersección del talud teórico con el terreno.

5.2.2.3.- Firmes

Una vez aprobada la rasante de tierras, se procede al extendido de las distintas capas de firme según la sección tipo proyectada. Esta unidad, es fundamental en cualquier proyecto, ya que, el precio de los materiales empleados es alto, además, deben cumplir una serie características constructivas más restrictivas que en el movimiento de tierras, en relación a la composición del material, a su colocación y en la terminación de obra.

El trabajo topográfico, consiste en replantear el eje y bordes de cada una de las capas que configuran el firme del proyecto, se trabajará de distintas formas, dependiendo del sistema de extendido empleado. Las tolerancias exigidas, son más restrictivas que en las actividades anteriores. Ej. para una capa de zahorra natural.

" La rasante de la superficie terminada no deberá superar a la teórica en ningún punto. Tampoco deberá quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm) en carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, ni en más de veinte milímetros (20 mm) en el resto de los casos. En perfiles transversales cada veinte metros (20 m), se comprobará la anchura de la capa extendida, que en ningún caso deberá ser inferior a la establecida en los Planos de secciones tipo. El espesor de la capa no deberá ser inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo", según pliego de prescripciones técnica generales para construcción de obras de carreteras y puentes, Artículo 510 Zahorras (PG-3). Se puede consultar en la Web del Ministerio de Fomento en la siguiente dirección: <https://www.fomento.gob.es/carreteras/normativa-tecnica/17-pliegos-de-prescripciones-tecnicas-generales>.

5.2.2.4.- Estructuras y Obras de Paso

Esta unidad, tiene un peso importante dentro del presupuesto del proyecto. En la construcción de puentes, estructuras y obras de paso, el trabajo topográfico, requiere más tiempo y mayor precaución, en la realización de los trabajos de replanteo, por la responsabilidad que conllevan las obras ejecutadas con hormigón. Los materiales empleados y la terminación final, tienen exigencias constructivas más restrictivas que en otras unidades.

5.2.2.5.- Mediciones

Durante la ejecución del proyecto se realizan mediciones mensuales, necesarias para las certificaciones de cada unidad realizada, que deben presentarse a la administración, así como, para afrontar el coste de los trabajos realizados por otras empresas que trabajen en el proyecto. Topografía, es la encargada de ejecutar estos trabajos de medición, utiliza

métodos e instrumentación óptima, para que se realicen de forma dinámica y con la calidad necesaria.

5.3.- INGENIERÍA DE MINAS

La topografía está presente en todas las fases de la Ingeniería de Minas. La planificación de un proyecto minero, se divide en etapas o fases sucesivas: exploración, prospección, investigación, explotación y restauración. La aparición de los sistemas de navegación por satélite GNSS, ha mejorado y aumentado el rendimiento de los trabajos mineros, desde la designación de perímetros de los registros mineros, hasta la automatización de diferentes operaciones en minería a cielo abierto. El desarrollo de estos sistemas permitirá, aumentar la calidad posicional, el rendimiento y una reducción los costes en todos los trabajos de la Ingeniería de Minas, donde puedan ser aplicados.

Se define un registro minero como la autorización que concede la administración a particulares o empresas para el aprovechamiento de riquezas minerales, de acuerdo a la legislación vigente y comprende un número determinado de cuadrículas mineras.

La cuadrícula minera aparece como unidad minera a partir de 1973 (ley de Minas de 22/1973 de 21 de julio) y *"se define como el volumen de profundidad indefinida cuya superficie queda comprendida entre dos meridianos y dos paralelos separados 20" sexagesimales, que deberán coincidir con grados y minutos enteros y en su caso, con un número de segundos que necesariamente habrá de ser veinte o cuarenta. La proyección utilizada es la Universal Transversa Mercator y el elipsoide de referencia el de Hayford, datum europeo (Postdam, mil novecientos cincuenta) y meridiano de Greenwich como origen de longitudes"*. Este aspecto fue introducido en el artículo once de la Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley de Minas.

Esta definición estuvo vigente hasta el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España, dictado al amparo de lo dispuesto en el artículo 149.1.13.^a de la Constitución, *" que atribuye al Estado la competencia sobre bases y coordinación de la planificación general de la actividad económica; estableció la adopción en España del sistema de referencia geodésico global, ETRS89, sustituyendo al sistema geodésico de referencia regional ED50, sobre el que actualmente se está compilando toda la cartografía oficial en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares y el sistema REGCAN95 en el ámbito de las Islas Canarias, permitiendo una completa integración de la cartografía oficial española con los sistemas de navegación y la cartografía de otros países europeos. Asimismo, y en correspondencia con lo anterior, se determinan los sistemas de representación de coordenadas que deben utilizarse para compilar y publicar la cartografía e información geográfica oficial según sus características"*.

Los perímetros de los permisos de investigación y concesiones de explotación deberán solicitarse y definirse por medio de coordenadas geográficas, tomándose como

punto de partida la intersección del meridiano con el paralelo que corresponda a uno cualquiera de los vértices del perímetro, de tal modo que, la superficie quede constituida por una o varias cuadrículas mineras. *Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley de Minas, 22/1973 de 21 de julio.*

Según el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio:

"Las longitudes estarán referidas al meridiano de Greenwich. El sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), será el sistema de referencia geodésico en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. En el caso de las Islas Canarias, el sistema será el REGCAN95. Ambos sistemas tendrán asociado el elipsoide GRS80 y estarán materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE, y sus densificaciones. Los sistemas de representación de coordenadas que deben utilizarse para compilar y publicar la cartografía e información geográfica oficial son: para cartografía terrestre, básica y derivada, a escalas igual o menor de 1:500.000, el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Cónica Conforme de Lambert y para escalas mayores de 1:500.000, el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Transversa de Mercator."

La Ley de Minas, clasifica los recursos mineros en cuatro secciones.

RECURSOS DE LA SECCIÓN A

Pertenecen a esta sección los yacimientos cuyo único aprovechamiento sea obtener fragmento de tamaño y forma apropiado, se utilizan generalmente en obras de infraestructuras y construcción (arenas, arcillas, cuarcitas etc.), sólo exigen operaciones arranque, quebrantado y calibrado, son yacimientos de escaso valor económico y de comercialización geográfica restringida.

RECURSOS DE LA SECCIÓN B

Forman parte de esta sección, las aguas minerales terrestres o marítimas, se pueden clasificar: en aguas minero-medicinales que incluyen las aguas minerales naturales envasadas para el consumo humano (Real Decreto 1978/2010), aguas de manantial y aguas utilizadas para fines terapéuticos (Balnearios), en aguas minero-industriales, que llevan sales disueltas y en aguas termales.

También pertenecen a esta sección estructuras subterráneas, que actúan como depósitos geológicos naturales o artificiales, capaces de retener en profundidad cualquier producto o residuo que se vierta se sitúe o inyecte en ellos.

La sección B, se completa con yacimientos de origen no natural, que pueden estar compuestos por acumulaciones de residuos procedente de actividades mineras reguladas por la Ley de Minas (Extracción) y de residuos procedentes del tratamiento de sustancias

que se hallen incluidas en su ámbito (Concentración). Estos residuos, se acumulan formando escombreras y son útiles para el aprovechamiento de algunos de sus componentes.

RECURSOS DE LA SECCIÓN C

Está constituida por los yacimientos minerales no incluidos en las secciones A y B, forman parte de esta sección los minerales metálicos y no metálicos. Dentro de los metálicos estarían: Óxidos, Sulfuros, Carbonatos, Silicatos, Fosfatos etc. y dentro de los no metálicos, el calcio, fosforo, potasio, azufre, sílice, cuarzo, magnesita, andalucita, calcio, arcillas especiales, sepiolita etc. Estos minerales también denominados industriales, se pueden emplear directamente en su estado natural o ser la base en industrias transformadores el sector químico, siderúrgico, cerámico, etc.

RECURSOS DE LA SECCIÓN D

Forman parte de esta sección los recursos energéticos, constituidos por: carbones, minerales radiactivos, recursos geotérmicos y rocas bituminosas (betunes y alquitranes).

Los hidrocarburos líquidos y gaseosos, no están incluidos en ninguna de las secciones anteriores. Se rigen por la ley 34/1998 de 7 de octubre que regula su exploración, prospección, investigación y explotación.

5.3.1.- EXPLORACIÓN

La primera fase o etapa de un proyecto minero comienza con la solicitud de un Permiso de Exploración, que es la autorización que otorga la conserjería competente en materia de minas, sobre terrenos francos y registrables. Esta autorización, permite realizar estudios de reconocimiento, aplicando técnicas no destructivas, que no alteren sustancialmente el terreno. Se otorga por el periodo de 1 año, prorrogable máximo dos veces. La extensión otorgada, varía entre 300 y 3000 cuadrículas minas y se conceden para los recursos de la sección C y D

Los trabajos que se realizan en esta fase son básicamente geológicos, donde el principal objetivo es la búsqueda de zonas favorables, de interés minero. Los estudios que se realizan consisten básicamente en: búsqueda de información bibliográfica, fotogramétrica, de teledetección, se aplican técnicas de prospección geoquímica, mineralógica, geofísica aerotransportada, geofísica de campo y finalmente toma de muestras aisladas. La escala de trabajo utilizada varía entre, 1/200000 hasta 1/25000, en función del momento de la exploración en que nos encontremos y del grado de detalle requerido.

Los trabajos topográficos en esta fase consisten fundamentalmente, en la demarcación del perímetro del registro solicitado, levantamiento topográfico, replanteo de perfiles, toma de datos de la ubicación de muestras etc.

5.3.2.- PROSPECCIÓN

Esta fase de trabajo se llevará a cabo, si en la anterior de exploración se obtienen resultados favorables sobre la zona estudiada. Para afrontar esta fase, es necesario solicitar previamente el Permiso de Investigación correspondiente, que es, la autorización que concede la Administración para la realización de estudios con el fin de localizar uno o varios recursos de la sección C, o sólo el solicitado de la sección D. Se conceden por un periodo de 3 años, prorrogables dos veces, la extensión solicitada estará comprendida entre, 1 y 300 cuadrículas mineras. (*Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley de Minas 22/1973 de 21 de julio*).

En esta etapa se corrobora o se descarta la hipótesis inicial de la existencia del yacimiento. Se realiza un estudio detallado del terreno en las zonas seleccionadas como favorables en la etapa anterior, empleando técnicas similares a las utilizadas en la fase de exploración, pero con, mayor precisión y detalle. Las escalas de trabajo varían entre 1/10000 y 1/500 en función del momento de la prospección en que nos encontremos y del grado de detalle buscado. Los trabajos que se realizan, básicamente son: Cartografía geológica de detalle. Prospección mineralógica de detalle. Prospección geoquímica de detalle, con toma de muestras en arroyos, suelos, rocas y vegetales. Geofísica terrestre de campo, pudiéndose aplicar, métodos eléctricos, sísmicos, gravimétricos, magnéticos o radiométricos. Toma sistemática de muestras.

Los datos recogidos son interpretados y esto nos lleva a planificar la ejecución de labores mineras y sondeos mecánicos. Estos sondeos se realizan a rotación con obtención de testigo, ya que, el testigo es la muestra más representativa del subsuelo perforado y aprovechando la existencia de estos sondeos se puede realizar en ellos una testificación geofísica. Esta etapa finaliza con descubrimiento del depósito.

En esta fase los trabajos topográficos son similares a los de la fase anterior. Sin embargo, existe un aumento de trabajos de replanteo y toma de datos, ya que, la escala de trabajo es mayor que en la fase anterior. Consisten, básicamente en el replanteo de los sondeos proyectados y en apoyo de las técnicas geofísicas. En general, la toma de datos en geofísica, se realiza trazando perfiles en la zona de estudio, estos perfiles serán paralelos entre sí, a una distancia constante entre ellos, que depende de la escala de trabajo. Se debe marcar la dirección de dichos perfiles y situar los puntos donde se tomarán los datos geofísicos. Sin embargo, en el método geofísico de prospección gravimétrica, además de situar los puntos planimétricamente, es necesario, obtener su altitud ortométrica, ya que, sobre los datos obtenidos con este método, se han de realizar una serie de correcciones en función de la altitud de cada estación, para reducirlos al nivel del mar.

5.3.3.- INVESTIGACIÓN

El objetivo de esta fase es determinar si el yacimiento encontrado es o no explotable. Se realiza una evaluación económica del depósito, para ello, es necesario determinar su forma y posición en el subsuelo, tonelaje, ley media y las reservas de mineral. También hay que estudiar la viabilidad atendiendo a factores sociales y medioambientales.

Los trabajos topográficos realizados en esta fase se limitan al replanteo de nuevos sondeos de perforación, que ayudan a definir y ubicar con más precisión el yacimiento y a la toma de datos necesaria para suministrar información.

5.3.4.- EXPLOTACIÓN

Si en la etapa anterior, se concluye que el yacimiento es explotable, será necesario solicitar la Concesión de Explotación a la administración correspondiente, definida como, el derecho que concede la Comunidad Autónoma para la explotación de una o varias sustancias de la sección C o la sustancia de la sección D para la que se solicitó. Se concede por un periodo de 30 años, prorrogable por dos plazos iguales, hasta un máximo de 90 años. La extensión de la concesión está comprendida entre 1 y 100 cuadrículas mineras. *(Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley de Minas 22/1973 de 21 de julio).*

Los trabajos topográficos en esta fase, están encaminados al desarrollo del proyecto de explotación definido en la fase de investigación. Se comienza con el replanteo de los límites de la concesión de explotación, levantamiento inicial de la zona minera, replanteo de obras e instalaciones a construir en el exterior y en el interior, replanteo de labores subterráneas, rompimientos entre labores, Se realizan mediciones mensuales para determinar movimientos de tierra, replanteo de bancos, pistas mineras y control de estabilidad de taludes, si la explotación es a cielo abierto y toma de avances, control de la orientación y rasantes de galerías según lo proyectado, en las explotaciones subterráneas, además del control de los hundimientos mineros producidos en superficie como consecuencia de labores mineras realizadas en interior.

5.3.5.- PLAN DE RESTAURACIÓN

Para solicitar una Concesión de Explotación es necesario presentar un proyecto de evaluación ambiental y el plan de restauración, conforme al Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre la gestión de residuos generados por las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por dichas actividades.

Los trabajos topográficos en esta fase, consisten en facilitar datos de apoyo para la confección de estos proyectos. La toma de datos, replanteo demarcaciones etc., en la fase de restauración, quedan fijados en el proyecto presentado y aprobado por la administración.

5.4.- CONCLUSIONES

En este punto se presentan de forma general, los servicios que ofrece una Red Geodésica Activa y su grado de aplicación en cuanto a calidad posicional, rendimiento y economía, en el campo de la ingeniería civil y en las técnicas mineras.

5.4.1.- INGENIERÍA CIVIL

La aplicación de los servicios ofrecidos por una Red Geodésica Activa en este campo es alta, puede utilizarse en la mayoría de las unidades analizadas, desbroce, movimiento de tierras, mediciones y replanteo planimétrico.

En el desbroce, la utilización de estos servicios ofrece un alto rendimiento al realizarse un replanteo continuo y las precisiones alcanzadas son mayores que las exigidas.

En el movimiento de tierras, el rendimiento también es alto, se evitan pérdidas de eficiencia, al no tener que estacionar, configurar y realizar cálculos, tanto en la toma de datos como en el replanteo, estos trabajos, se realizan de forma continua lo que supone una reducción del gasto. Se consigue, la precisión y exactitud exigidas en estos trabajos, como se ha podido demostrar en esta tesis.

En la construcción del firme, se concluye que, en los trabajos altimétricos de replanteo de sus distintas capas, no se alcanzan las tolerancias constructivas exigidas, sin embargo, en el replanteo planimétrico, marcando eje y anchos, se obtendría un alto rendimiento y una reducción del coste al utilizar un sólo receptor. Igual ocurre en la construcción de estructuras o puentes, donde las restricciones constructivas, determinan que el replanteo altimétrico utilizando una Red Geodésica Activa, no es efectivo.

5.4.2.- INGENIERÍA DE MINAS

Los servicios ofrecidos por una Red Geodésica Activa en trabajos propios de la Ingeniería de Minas, puede aplicarse en todas las fases en las que se divide la técnica minera: exploración, prospección, investigación, explotación y restauración.

En la fase de Exploración, se consigue un alto rendimiento al realizar replanteos directos, así como, disminución de los costes y tolerancias exigidas son más que alcanzables.

En las fases de prospección e investigación, se produce un aumento de los trabajos de replanteo y toma de datos, por lo que es muy favorable la utilización de esta red. En estas fases, también se utilizan técnicas de prospección geofísica que necesitan de más precisión; este trabajo, pone de manifiesto, que los resultados de precisión y exactitud obtenidos son suficientes para ser aplicados en estas técnicas de investigación minera.

En la fase de explotación, consideramos que sólo sería aplicable en los trabajos de explotación a cielo abierto y hasta la cota en la que la señal de los satélites pueda recibirse. En explotaciones subterráneas, evidentemente no puede utilizarse, sin embargo, sería efectivo para toma de datos, replanteos y colocación de puntos de apoyo que sirven de base para relacionar los trabajos subterráneos.

5.5.- NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En este punto, se describen las nuevas líneas de investigación relacionadas con la utilización de Redes Geodésicas Activas, que abren las siguientes líneas de investigación:

- En la búsqueda de nuevos métodos que ofrezcan mayores precisiones altimétricas, para realizar determinados trabajos en ingeniería, utilizando este tipo de redes.
- En la utilización de posicionamiento en tiempo real mediante servicio ofrecido por Redes Geodésicas Activas, en combinación con otros sensores utilizados en prospección minera, magnetómetros, geo-radar y todos aquellos que puedan utilizarse en movimiento.
- En la aplicación del monitoreo de hundimientos producidos por la actividad minera y en el control de deslizamientos de taludes en minería a cielo abierto.
- En la aplicación al control de elementos lineales.
- En la repercusión que supone en los trabajos de Ingeniería civil y Minería la incorporación de las nuevas señales y constelaciones de satélites, GLONASS, GALILEO etc. utilizando Redes Geodésicas Activas.

5.6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abidin, H. Z. (1993). On the Construction of the Ambiguity Searching Space for On-the-Fly Ambiguity Resolution. *Navigation*, 40(3), 321–338.
- Allahyari, M., Olsen, M. J., Gillins, D. T., & Dennis, M. L. (2018). Tale of two RTNs: Rigorous evaluation of real-time network GNSS observations. *Journal of Surveying Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000249](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000249)
- Al-Shaery, A., Lim, S., & Rizos, C. (2012). Investigation of Different Interpolation Models Used in Network-RTK for the Virtual Reference Station Technique. *Journal of Global Positioning Systems*. <https://doi.org/10.5081/jgps.10.2.136>
- Altamimi, Z. (2009). The International Terrestrial Reference Frame (ITRF2005). In *Geodetic Reference Frames* (pp. 81–82). Springer.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., & Boucher, C. (2007). ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series

- of station positions and Earth Orientation Parameters. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B9).
- Altamimi, Z., Collilieux, X., & Métivier, L. (2011). ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame. *Journal of Geodesy*, 85(8), 457–473.
- Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., & Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(8). <https://doi.org/10.1002/2016JB013098>
- Alves, P., Geisler, I., Brown, N., Wirth, J., & Euler, H.-J. (2005). Introduction of a Geometry-Based Network RTK Quality Indicator. *Ion Gnss 2005*.
- Alves, P., Kotthoff, H., Geisler, I., Zelzer, O., & Euler, H. (2006). Rover Processing with Network RTK and Quality Indicators. Leica Geosystems AG Heerbrugg, Switzerland.
- Aponte, J., Meng, X., Hill, C., Moore, T., Dodson, A., & Burbidge, M. (2009). Quality assessment of a network-based RTK GPS service in the UK. *Journal of Applied Geodesy*. <https://doi.org/10.1515/JAG.2009.003>
- Aponte, J., Meng, X., Moore, T., Hill, C., & Burbidge, M. (2008). Investigating the Impact of the Commercial GSM/GPRS Communications on the Availability of the Network Based RTK GNSS Service. In *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008)*.
- Ashkenazi, V., Hill, C. J., Ochieng, W. Y., & Nagle, J. (1993). Wide-Area Differential GPS: A Performance Study. *Navigation*, 40(3), 297–319.
- Baldi, P., Casula, G., Cenni, N., Loddo, F., & Pesci, A. (2009). GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy). *Earth and Planetary Science Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.09.023>
- Berrocso Domínguez, M., Páez, R., Jigena, B., & Caturla, C. (2006). The RAP net: a geodetic positioning network for Andalusia (south Spain).
- Blewitt, G. (1989). Carrier phase ambiguity resolution for the Global Positioning System applied to geodetic baselines up to 2000 km. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B8), 10187–10203.
- Boriskin, A., Kozlov, D., & Zyryanov, G. (2012). The RTCM Multiple Signal Messages: A New Step in GNSS Data Standardization. *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012)*, Nashville, Tennessee USA, Pp. 2947–2955, September 2012.

- Boucher, C., & Altamimi, Z. (2008). Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Version 4.
- Brown, N., Geisler, I., & Troyer, L. (2006). RTK rover performance using the Master-Auxiliary Concept. *Positioning*, 1(10), 0.
- Brown, N., Keenan, R., Richter, B., & Troyer, L. (2005). Advances in ambiguity resolution for RTK applications using the new RTCM V3. 0 Master-Auxiliary messages. In *Proc of ION GNSS*.
- Cano-Jódar, E., Sánchez-de-la-Orden, M., & Mesas-Carrascosa, J. (2018). Active geodetic network: application in topography. *DYNA*. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.66427>
- Chen, D., & Lachapelle, G. (1995). A Comparison of the FASF and Least-Squares Search Algorithms for on-the-Fly Ambiguity Resolution. *Navigation*, 42(2), 371–390.
- Chen, X., Allison, T., Cao, W., Ferguson, K., Grünig, S., Gomez, V., ... Talbot, N. (2011). Trimble RTX, an innovative new approach for network RTK. *24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation 2011, ION GNSS 2011*.
- Colombo, O. L., Brunner, S., Jones, G., Janssen, V., & Rizos, C. (2010). Wide-area, sub-decimeter positioning for airborne LiDAR surveys using CORSnet-NSW.
- Craddock, A., Johnston, G. (2018) 25 Years on the path to multi-GNSS. [Innovation: The International GNSS Service](https://www.gpsworld.com/the-international-gnss-service-25-years-on-the-path-to-multi-gnss/). Disponible [https://www.gpsworld.com/the-international-gnss-service-25-years-on-the-path-to-multi-gnss/] última visita agosto 2019.
- Dai, L., Han, S., Wang, J., & Rizos, C. (2003). Comparison of interpolation algorithms in network-based GPS techniques. *Navigation*, 50(4), 277–293.
- De Jonge, P. J., & Tiberius, C. (1996). The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects. Delft Geodetic Computing Centre, LGR series No. 12. *Delft University of Technology*, 49.
- De Jonge, P., Tiberius, C., & Teunissen, P. (1996). Computational aspects of the LAMBDA method for GPS ambiguity resolution. In *PROCEEDINGS OF ION GPS* (Vol. 9, pp. 935–944). INSTITUTE OF NAVIGATION.
- Deng, L., Li, Z., Wei, N., Ma, Y., & Chen, H. (2019). GPS-derived geocenter motion from the IGS second reprocessing campaign. *Earth, Planets and Space*, 71(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1054-2>
- Dixon, K. (2006). StarFire: A Global SBAS for Sub-Decimeter Precise Point Positioning. *Proceedings of the 19th International Technical Meeting of the*

- Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2006)*.
<https://doi.org/10.3109/14767058.2011.606678>
- Dong, D., & Bock, Y. (1989). Global Positioning System network analysis with phase ambiguity resolution applied to crustal deformation studies in California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B4), 3949–3966.
- Edwards, S. J., Clarke, P. J., Penna, N. T., & Goebell, S. (2010). An Examination of Network RTK GPS Services in Great Britain. *Survey Review*.
<https://doi.org/10.1179/003962610x12572516251529>
- Elliott D. Kaplan and Christopher Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, 2nd Edition, Northwood: Artech House, 2006. ISBN: 1-58053-894-0
- Euler, H. J., Keenan, C. R., Zebhauser, B. E., & Wübbena, G. (2001). Study of a simplified approach in utilizing information from permanent reference station arrays. In *ION GPS* (Vol. 2001, pp. 11–14). Citeseer.
- Euler, H., Seeger, S., & Takac, F. (2004). Influence of Diverse Biases on Network RTK. In *Ion Gnss 2004*. [https://doi.org/10.1016/S0022-4359\(00\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4359(00)00029-4)
- Euler, H., & Zebhauser, B. E. (2002). The Use of Standardized Network RTK Messages in Rover Applications for Surveying. In *ENC-GNSS 2010*.
- Ferland, R. (2006). Reference Frame Working Group Technical Report 2003-2004.
- Fotopoulos, G., & Cannon, M. E. (2000). Spatial and temporal characteristics of DGPS carrier phase errors over a regional network. In *Proceedings of the World Congress of the International Association of Institutes of Navigation, San Diego, June* (pp. 26–28). Citeseer.
- Freeland, R. S., Buschermohle, M. J., Wilkerson, J. B., & Pierce, J. C. (2012). Precision Agriculture--Assessing Virtual and Single Reference Stations. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(6), 913–922.
- Frei, E., & Beutler, G. (1990). Rapid static positioning based on the fast ambiguity resolution approach: the alternative to kinematic positioning. In *Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, The Canadian Institute of Surveying and Mapping* (pp. 1196–1216).
- Gao, W., Gao, C., Pan, S., Wang, D., & Deng, J. (2015). Improving ambiguity resolution for medium baselines using combined GPS and BDS Dual/triple-frequency observations. *Sensors (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/s151127525>
- Gao, W., Gao, C., Pan, S., Yu, G., & Hu, H. (2017). Method and assessment of BDS triple-frequency ambiguity resolution for long-baseline network RTK. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.01.029>

- Gao, Y. (1997). Carrier phase based regional area differential GPS for decimeter-level positioning and navigation. In *Proc 10th Int Tech Meeting Satellite Division Inst Navigation, Kansas City, Mo, 16-19 September, 1997* (pp. 1305–1313).
- Gao, Y., & Li, Z. (1998). Ionosphere effect and modeling for regional area differential GPS network. In *ION GPS-98* (pp. 91–97).
- Garrido, M. S., Giménez, E., Armenteros, J. A., Lacy, M. C., & Gil, A. J. (2012). Evaluation of NRTK positioning using the RENEP and RAP networks on the southern border region of Portugal and Spain. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 47(1), 52–65.
- Garrido, M. S., Giménez, E., de Lacy, M. C., & Gil, A. J. (2011). Surveying at the limits of local RTK networks: Test results from the perspective of high accuracy users. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.12.001>
- Garrido, M. S., Giménez, E., de Lacy, M. C., & Gil, A. J. (2011). Testing precise positioning using RTK and NRTK corrections provided by MAC and VRS approaches in SE Spain. *Journal of Spatial Science*. <https://doi.org/10.1080/14498596.2011.623341>
- Geckle, W. J., & Feen, M. M. (1980). Ionospheric refraction correction model for single-frequency Doppler navigation. In *PLANS'80-Position Location and Navigation Symposium* (pp. 22–26).
- Geosystems, L. (2005). Networked Reference Stations. *White Paper*. *Www. Leica-Geosystems. Com*.
- Giménez, E., Crespi, M., Garrido, M. S., & Gil, A. J. (2012). Multivariate outlier detection based on robust computation of mahalanobis distances. Application to positioning assisted by RTK GNSS Networks. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.11.011>
- GOAD, & C., C. (1974). A modified Hopfield tropospheric refraction correction model. *Paper Presented at the Fall Annual Meeting American Geophysical Union, 1974*. Retrieved from <http://ci.nii.ac.jp/naid/10021228665/en/>
- Gordini, C., Kealy, A. N., Grgich, P. M., Hale, M. J., & Gordini, C. (2006). Testing and evaluation of a GPS CORS network for real time centimetric positioning—The Victoria GPSnet. In *Proceedings of the IGSS2006 Symposium* (pp. 17–21). Citeseer.
- Grejner-Brzezinska, D. a., Arslan, N., Wielgosz, P., & Hong, C. K. (2009). Network Calibration for Unfavorable Reference-Rover Geometry in Network-Based RTK:

- Ohio CORS Case Study. *Journal of Surveying Engineering-Asce*. [https://doi.org/Doi10.1061/\(Asce\)0733-9453\(2009\)135:3\(90\)](https://doi.org/Doi10.1061/(Asce)0733-9453(2009)135:3(90))
- Han, S. (1997). Carrier phase-based long-range GPS kinematic positioning. *Ph. D. Thesis*, 185.
- Han, S., & Rizos, C. (1996). Improving the computational efficiency of the ambiguity function algorithm. *Journal of Geodesy*, 70(6), 330–341.
- Hatch, R. (1991). Instantaneous ambiguity resolution. In *Kinematic systems in geodesy, surveying, and remote sensing* (pp. 299–308). Springer.
- Herrada, A., & Miranda, S. A. (2014). Protocolos y formatos para la disseminación de datos GNSS (Global Navigation Satellite System): una revisión. *Geoacta*, 39(1).
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (Eds.). (2008). GPS BT - GNSS — Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more (pp. 309–340). Vienna: Springer Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1_9
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- Hopfield, H. S. (1969). Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data. *Journal of Geophysical Research (1896-1977)*, 74(18), 4487–4499. <https://doi.org/10.1029/JC074i018p04487>
- Huang, Z., Huang, D., Xu, Z., & Xu, Z. (2011). GPS vehicle positioning monitoring system integrated with CORS and mobile GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2498–2504.
- Hutton, J. J., Gopaul, N., Zhang, X., Wang, J., Menon, V., Rieck, D., ... Pastor, F. (2016). Centimeter-level, robust gnss-Aided inertial post-processing for mobile mapping without local reference stations. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (Vol. 41). <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B3-819-2016>
- Janssen, V. (2009). A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK. Paper presented at the *IGNSS 2009 Symposium*, 1-3 December 2009, Surfers Paradise, Australia.
- Janssen, V., & Haasdyk, J. (2011). Assessment of Network RTK performance using CORSnet-NSW. Paper presented at the *Proceedings of IGNSS 2011 Symposium*, 15-17 November 2011, Sydney, Australia.
- Jing-Xiang, G., & Hong, H. (2009). Advanced GNSS technology of mining deformation monitoring. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1(1), 1081–1088.

- KEE, C., PARKINSON, B. W., & AXELRAD, P. (1991). Wide Area Differential GPS. *Navigation*, 38(2), 123–145. <https://doi.org/10.1002/j.2161-4296.1991.tb01720.x>
- Klobuchar, J. A. (1983). Ionospheric Effects on Earth-Space Propagation. ed. Defense Technical Information Center. [Disponible <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a142725.pdf>]. último acceso septiembre 2018
- Klobuchar, J. A. (1986). Design and characteristics of the GPS ionospheric time delay algorithm for single frequency users. In *PLANS'86-Position Location and Navigation Symposium* (pp. 280–286).
- Landau, H., Chen, X., Kipka, A., & Vollath, U. (2007). Latest Developments in Network RTK Modeling to Support GNSS Modernization. In *PROCEEDINGS OF THE 2007 NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION - NTM 2007*. <https://doi.org/10.5081/jgps.6.1.47>
- Landau, H., Vollath, U., & Chen, X. (2003). Virtual Reference Stations versus Broadcast Solutions in Network RTK - Advantages and Limitations. In *GNSS 2003*. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2012.12.001>
- Landau, H., Vollath, U., & Chen, X. (2002). Virtual reference station systems. *Journal of Global Positioning Systems*, 1(2), 137–143.
- Leandro, R., Landau, H., Nitschke, M., Glocker, M., Seeger, S., Chen, X., ... Kipka, A. (2011). RTX Positioning: The Next Generation of cm-accurate Real-Time GNSS Positioning. In *Proceedings of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011)*, Portland OR, September 19-23, 2011.
- Leick, A., & (Firm), K. (2004). *GPS Satellite Surveying*. Wiley. Retrieved from <https://books.google.es/books?id=4qE6xYjYSHgC>
- Lenz, E. (2004) Networked transport of RTCM via internet protocol (NTRIP) Application and Benefit in Modern Surveying Systems, FIG Working Week, Athens, Greece, 22-27 May,
- Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. *Journal of Geodesy*, 89(6). <https://doi.org/10.1007/s00190-015-0802-8>
- Lim, S., & Rizos, C. (2008). An Optimal Design for Server-Based RTK Systems. *Network*. ION GNSS 21st. International Technical Meeting of the Satellite Division, 16-19, September 2008, Savannah, GA.

- Liu, Z., Xiong, W., & Cao, X. (2011). Design of precision fertilization management information system on GPS and GIS technologies. In *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture* (pp. 268–277). Springer.
- Lou, L., & Chen, Y. (2009). The Precision And Accuracy Of Shanghai Vrs Network. In *Observing our Changing Earth* (pp. 719–723). Springer.
- López, S. (1996). Topografía, 2ª ed. Editorial: Mundiprensa, Madrid, ISBN:84-7114-6339
- Miller, C., O’Keefe, K., & Gao, Y. (2010). Operational Performance of RTK Positioning when Accounting for the Time Correlated Nature of GNSS Phase Errors. *Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2010)*.
- Morán, G. M., García, D. A. N., & Herrero, E. L. (2007). Red GNSS de Castilla y León. Evaluación y rendimiento del servicio RTK en red. *Mapping*, (119), 58–77.
- Núñez, A., Valbuena, J. L., Velasco, J. (1992). G.P.S.: la nueva era de la topografía: Ediciones de las ciencias sociales, 236 p. ISBN: 84-87510-31-0.
- Öcalan, T., & Tunalıolu, N. (2010). Data communication for real-time positioning and navigation in global navigation satellite systems (GNSS)/continuously operating reference stations (CORS) networks. *Scientific Research and Essays*.
- Petovello, M. (2011). GNSS solutions: Virtual reference stations. *Inside GNSS*, 28–31.
- Raquet, J. (1997). Multiple user network carrier-phase ambiguity resolution. In *Proceedings of Int. Symp. On Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS 1997), Banff, Canada* (pp. 3–6). Citeseer.
- Remondi, B. W. (1985). Performing centimeter-level surveys in seconds with GPS carrier phase: initial results. *Navigation*, 32(4), 386–400.
- Remondi, B. W. (1985). Global Positioning System carrier phase: description and use. *Bulletin Géodésique*, 59(4), 361–377.
- Rizos, C. (2002). Network RTK Research and Implementation: A Geodetic Perspective. *Journal of Global Positioning Systems*. <https://doi.org/10.5081/jgps.1.2.144>
- Rizos, C., & Han, S. (2003). Reference station network based RTK systems-concepts and progress. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 8(2), 566–574.
- Rizos, C., Cranenbroeck, J. Van, & Lui, V. (2010). Advances in GNSS-RTK for Structural Deformation Monitoring in Regions of High Ionospheric Activity. In *FIG Congress 2010 «Facing the Challenges – Building the Capacity»*.

- Saastamoinen, J. (1972). Contributions to the theory of atmospheric refraction. *Bulletin Géodésique (1946-1975)*, 105(1), 279–298. <https://doi.org/10.1007/BF02521844>
- Seeber, G. (2008). *Satellite Geodesy*. De Gruyter. Retrieved from <https://books.google.es/books?id=qZTS6OI9NGoC>
- Sickle JV. (2008). GPS for Land Surveyors, Third Edition, CRC, Press, Taylor & Francis Group. International Standard Book Number-13:978-0-203-30522-5
- Stephenson, S., Meng, X., Moore, T., Baxendale, A., & Edwards, T. (2013). Network RTK for intelligent vehicles: Accurate, reliable, available, continuous positioning for cooperative driving. *GPS World*.
- Takac, F., Zebhauser, B. E., Euler, H., & Zelzer, O. (2003). Applicability of Standardized Network RTK Message for Surveying Rovers. *Ion Gnss 2003*.
- Takac, F., & Lienhart, W. (2008). SmartRTK: A Novel Method Of Processing Standardised RTCM Network RTK Information For High Precision Positioning. In *ENC-GNSS 2008*. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2015.04.026>
- Takac, F., & Zelzer, O. (2008). The Relationship Between Network RTK Solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX. *Proceedings of ION GNSS 2008*.
- Tang, M. (2012). Evolutionary placement of continuously operating reference stations of network real-time kinematic. In *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2012*. <https://doi.org/10.1109/CEC.2012.6256527>
- Teunissen, P. J. G. (1998). Success probability of integer GPS ambiguity rounding and bootstrapping. *Journal of Geodesy*, 72(10), 606–612.
- Uzel, T., Eren, K., Gulal, E., Tiryakioglu, I., Dindar, A. A., & Yilmaz, H. (2013). Monitoring the tectonic plate movements in Turkey based on the national continuous GNSS network. *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0631-5>
- Van der Marel, H. (1998). Virtual GPS reference stations in the Netherlands. In *PROCEEDINGS OF ION GPS* (Vol. 11, pp. 49–58). Institute of Navigation.
- Valdés, M., Cano, M.A., Pascual, M., García, L. (2012) Análisis de estaciones permanentes GNSS en la península ibérica, proyecto IBERRED. 7ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica Donostia – San Sebastián 2012.
- Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H., Pagels, C., & Wagner, B. (2000). Long-Range RTK Positioning Using Virtual Reference Stations. *Proceedings of ION GPS 2000*.

- Vollath, U., Patra, R., Chen, X., Landau, H., & Allison, T. (2004). Galileo/Modernized GPS: A New Challenge to Network RTK. In *Proceeding of the ION GPS/GNSS Satellite meeting*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00270.x>
- Wang, D., Meng, X., Gao, C., Pan, S., & Chen, Q. (2017). Multipath extraction and mitigation for bridge deformation monitoring using a single-difference model. *Advances in Space Research*, 60(12). <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.01.007>
- Wang, H. C., & Cheng, L. Z. (2009). Application of CORS technology in urban survey. *Land and Resources Informatization*, 3, 14–16.
- Wang, L., & Hu, W. (2013). Study and Application in Road Survey on CORS Technique. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 1707–1711. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.193>
- Wanninger, L. (2004). Ionospheric Disturbance Indices for RTK and Network RTK Positioning. *Proceedings of the 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2004)*.
- Wanninger, L. (1995). Improved ambiguity resolution by regional differential modelling of the ionosphere. *Proceedings of the ION GPS 95*, 55–62.
- Weber, G., Dettmering, D., & Gebhard, H. (2005). Networked transport of RTCM via internet protocol (NTRIP). In *A Window on the Future of Geodesy* (pp. 60–64). Springer.
- Wegener, V., & Wanninger, L. (2005). Communication options for Network RTK/SAPOS® realization. In *Joint 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2005 (WPNC '05) & 1st Ultra-Wideband Expert Talk 2005 (UET '05)*. Citeseer.
- Wielgosz, P., Kashani, I., & Grejner-Brzezinska, D. (2005). Analysis of long-range network RTK during a severe ionospheric storm. *Journal of Geodesy*. <https://doi.org/10.1007/s00190-005-0003-y>
- Wübbena, G., Bagge, A., & Schmitz, M. (2001). Network-Based Techniques for RTK Applications. In *GPS Symposium, GPS JIN 2001*. <https://doi.org/10.1111/jdv.12659>
- Wübbena, G., Bagge, A., Seeber, G., Böder, V., & Hankemeier, P. (1996). Reducing distance dependent errors for real-time precise DGPS applications by establishing reference station networks. In *PROCEEDINGS OF ION GPS* (Vol. 9, pp. 1845–1852). Institute of Navigation.
- Wübbena, G., Schmitz, M., & Bagge, A. (2005). PPP-RTK: precise point positioning using state-space representation in RTK networks. In *Proceedings of ION GNSS* (Vol. 5, pp. 13–16).

- Yu, J., Meng, X., Shao, X., Yan, B., & Yang, L. (2014). Identification of dynamic displacements and modal frequencies of a medium-span suspension bridge using multimode GNSS processing. *Engineering Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.10.010>
- Zebhauser, B. E., Euler, H. J., Keenan, C. R., & Wübbena, G. (2002). A novel approach for the use of information from reference station networks conforming to RTCM V2. 3 and future V3. 0. *Proceedings OfION NTM, San Diego, CA, USA, Jan*, 28–30.
- Alkan, R. M., Saka, M. H., Ozulu, M., & İlçi, V. (2017). Kinematic precise point positioning using GPS and GLONASS measurements in marine environments. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.054>
- Fotopoulos, G., & Cannon, M. E. (2001). An Overview of Multi-Reference Station Methods for cm-Level Positioning. *GPS Solutions*, 4(3), 1–10. <https://doi.org/10.1007/PL00012849>
- Zhang, K., Jian, Y., Liu, G., Wu, F., & Deakin, R. (2010). Deformation Monitoring and Analysis Using Victorian Regional CORS Data. *Journal of Global Positioning Systems*. <https://doi.org/10.5081/jgps.4.1.129>

DIRECCIONES DE PÁGINAS WEB

- <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>
- <https://www.gps.gov/multimedia/tutorials/trilateration/>
- <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#L2C>
- <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#L5>
- <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#L1C>
- <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>
- <https://www.gsc-europa.eu>
- <https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>
- <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php#about>
- <http://en.beidou.gov.cn/>
- <http://qzss.go.jp/en/technical/satellites/index.html#NAVIC>
- <http://qzss.go.jp/en/technical/technology/orbit.html>
- <http://sys.qzss.go.jp/dod/en/constellation.html>
- <http://app.qzss.go.jp/GNSSView/gnssview.html?t=1535561137322>
- <http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/icg.html>
- <https://www.gps.gov/policy/cooperation/>
- <http://www.rtcn.org/differential-global-navigation-satellite--dgnss--standards.html>
- <http://redgae.ign.es/web/guest/inicio>

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

- http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/procedure_becoming_station.pdf
- http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf
- <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202094816-Monumentation-Recommendations>
- <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/avisos1>
- <http://www.ideandalucia.es/portal/portal/delegate/content/64f315a6-78e4-44a0-b2e9-11a33f70929e>
- <http://www.igs.org/products>
- <http://www.epncb.oma.be>
- http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf
- http://www.epncb.oma.be/_organisation/WG/
- http://www.epncb.oma.be/_organisation/about.php
- <ftp://ftp.geodesia.ign.es/ERGNSS/fichas/>
- <https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-gnss-tiempo-real>
- <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/rap/estaciones>
- <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portalposicionamiento/rap/descargarinex>
- <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/blog/tag/rap/>
- <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/blog/2017/03/ieca-centro-operacional-de-euroref/>
- <http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/rap>
- <https://gnss.aragon.es/>
- <http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?idsite=5505&cont=94480>
- <http://www.territoriodecantabria.es/cartografia-sig/red-activa-de-estaciones-gnss-de-cantabria/mapas-red>
- <http://gnss.itacyl.es/index.php?ruta=/opencms/opencms/inicio/index.html>
- <http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Posicionament/Estacions-GNSS/Sobre-les-estacions-GNSS>
- www.gps2.euskadi.net/network.php
- <http://www.rep-gnss.es/index.php>
- <http://www.rep-gnss.es/index.php>
- <http://www.icv.gva.es/es/web/icv-erva>
- <https://www.iderioja.larioja.org/?id=20&lang=es>
- <https://www.grafcan.es/2009/08/red-de-estaciones-permanentes-de-canarias#>
- <http://gps.medioambiente.carm.es/>
- <http://rgapa.cartografia.asturias.es/index.html>
- <http://cartogalicia.com/galnet2>

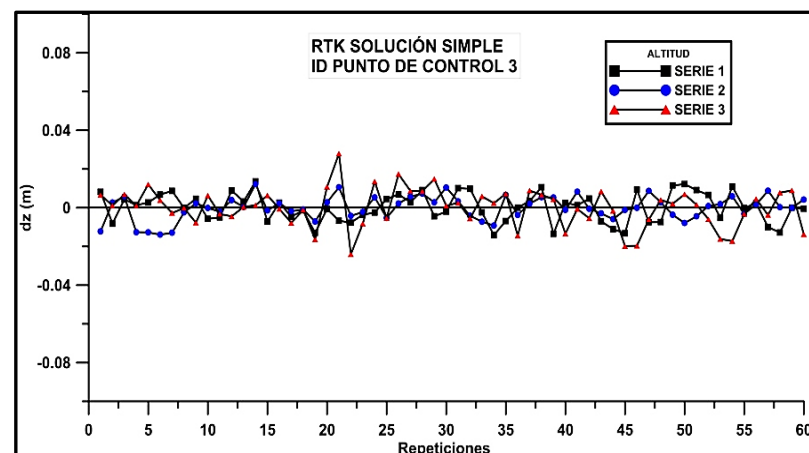
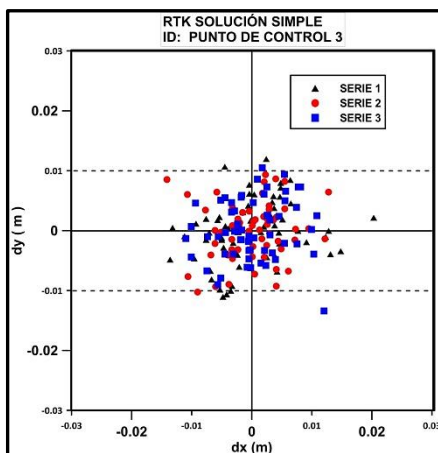
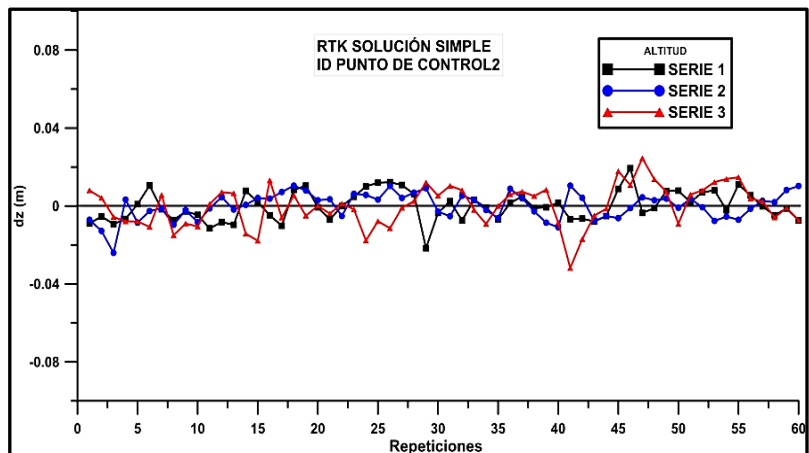
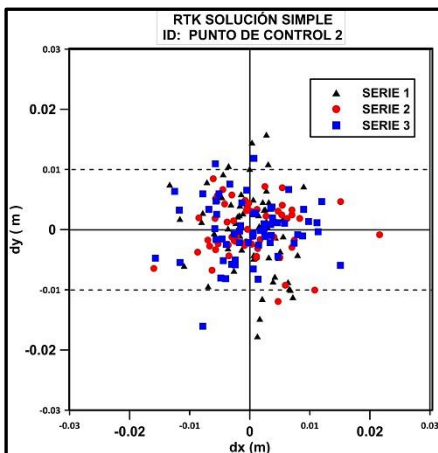
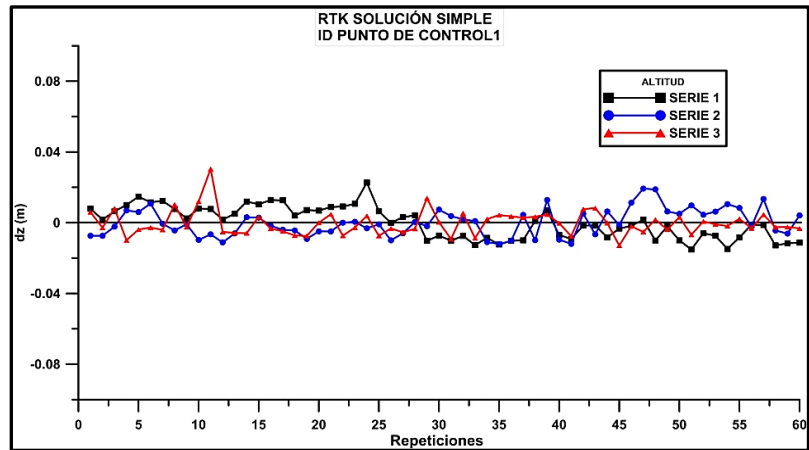
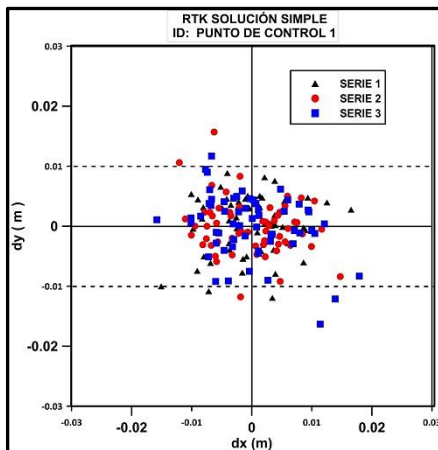
ANEXO I.- GRÁFICOS

ANEXO 1.- GRÁFICOS

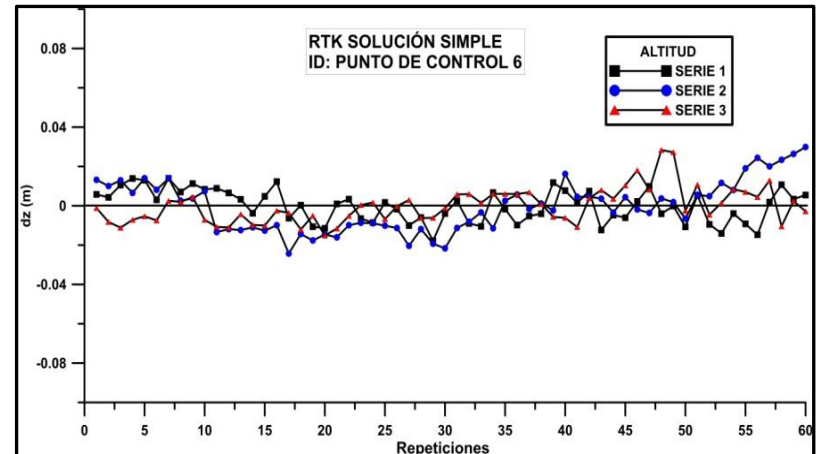
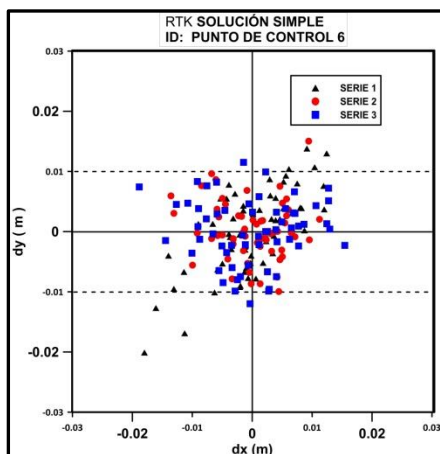
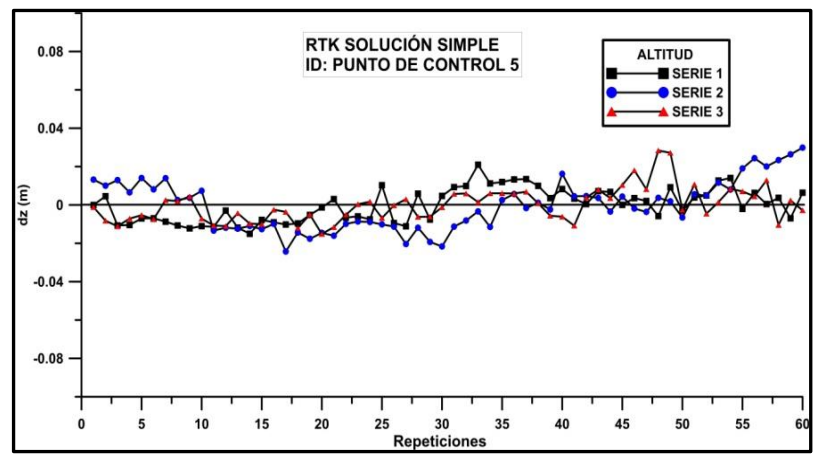
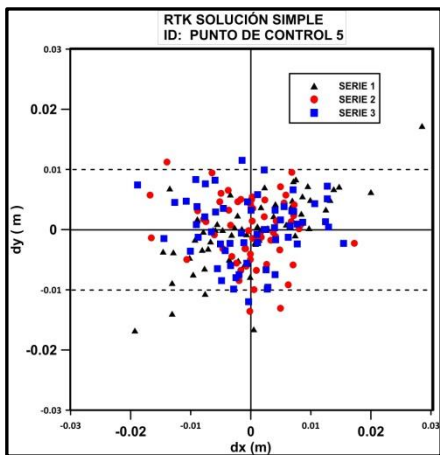
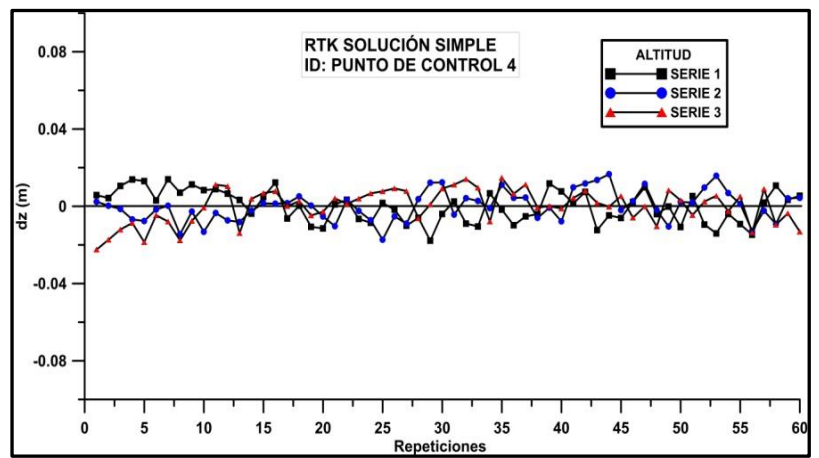
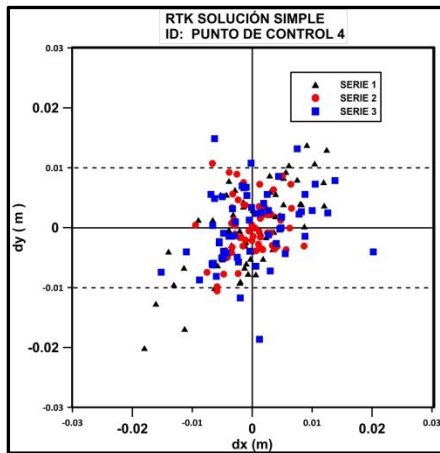
1. - PRECISIÓN

1.1.- SOLUCIÓN SIMPLE

En los gráficos siguientes se presentan las discrepancias con respecto al valor más probable en las componentes este, norte y vertical, en los seis puntos de control utilizando solución simple.



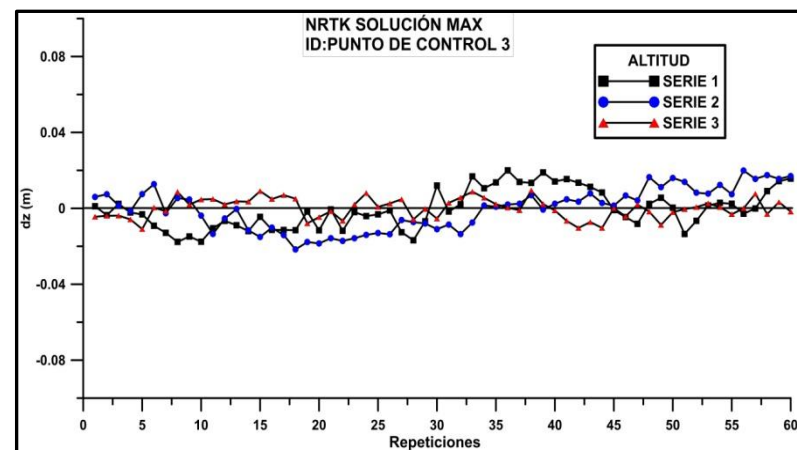
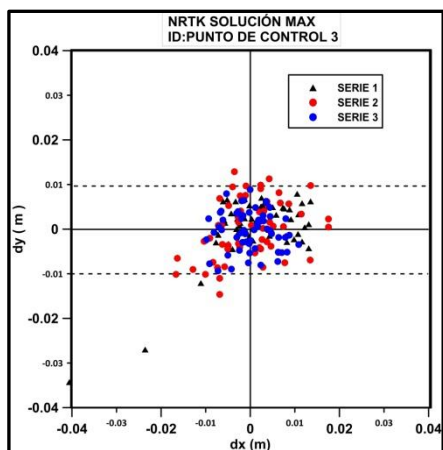
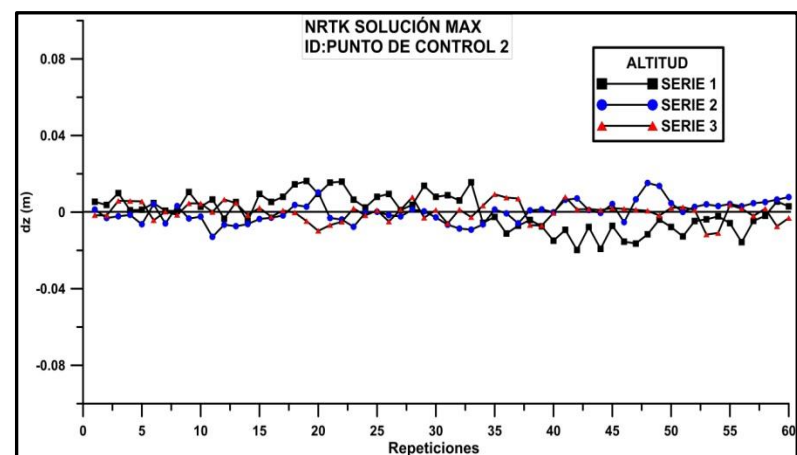
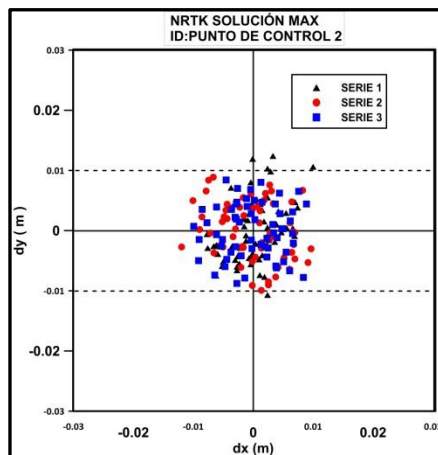
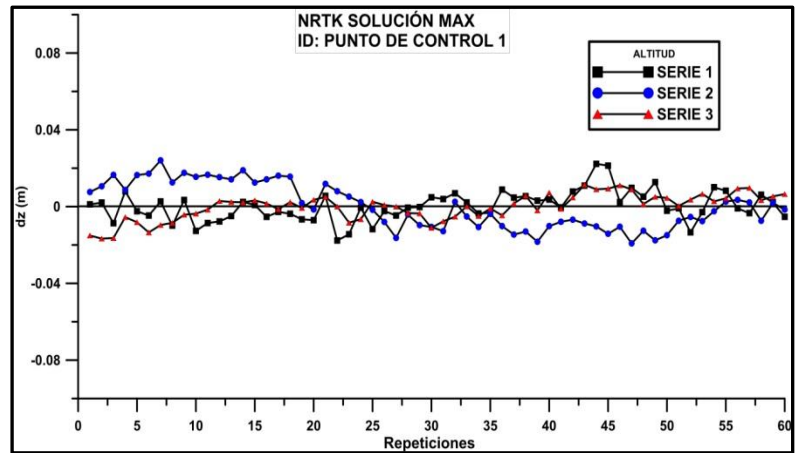
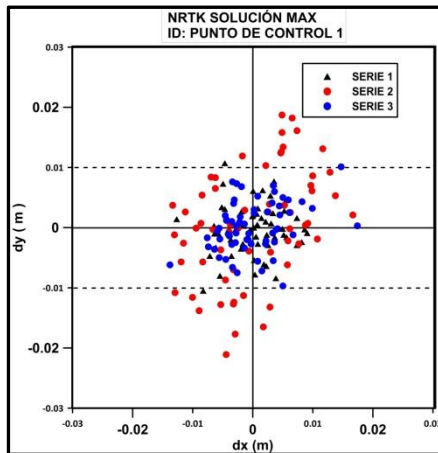
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



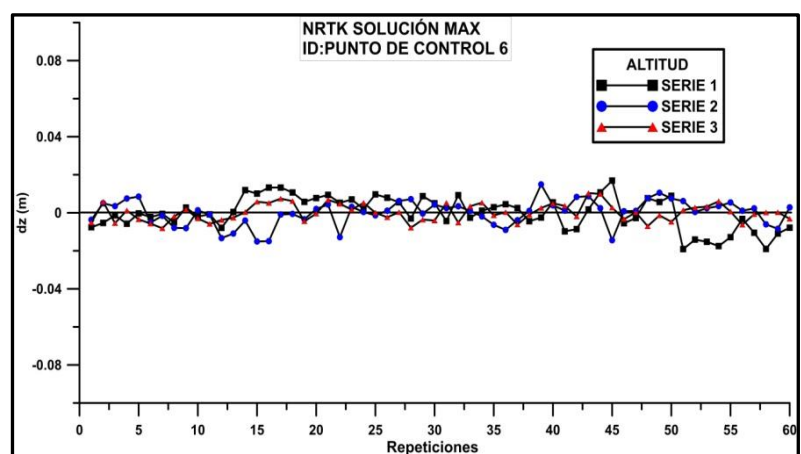
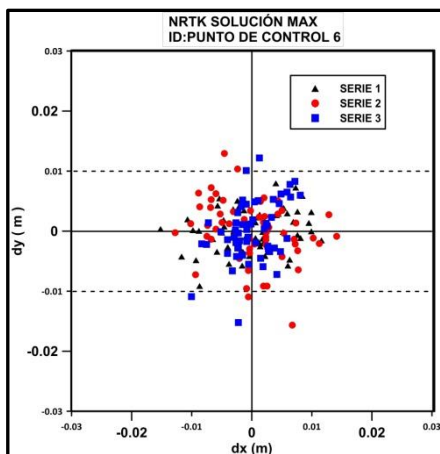
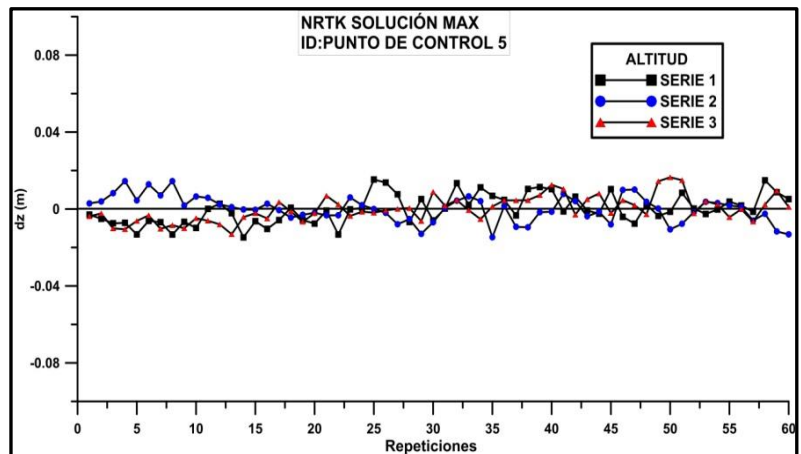
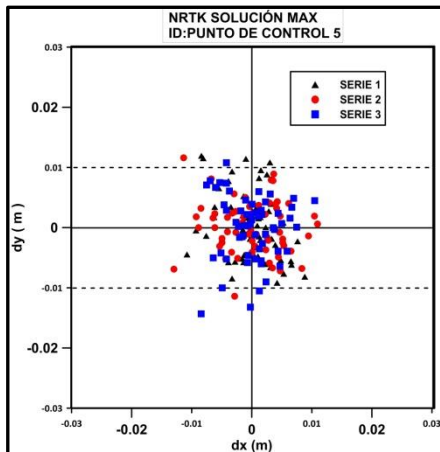
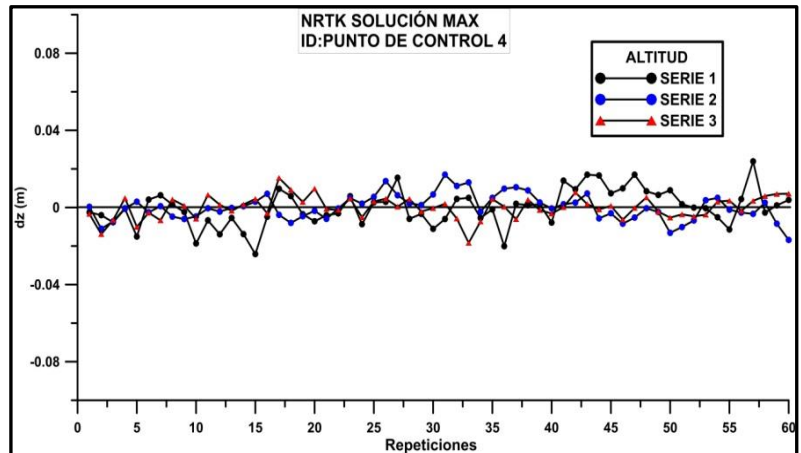
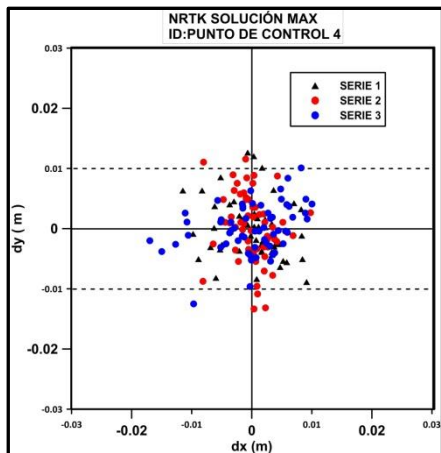
1.2.- SOLUCIÓN DE RED

1.2.1.- CORRECCIONES MAX

En los siguientes gráficos se representan las desviaciones en las componentes este, norte y vertical, respecto al valor más probable, utilizando solución de red y correcciones MAX, en los seis puntos de control ensayados.

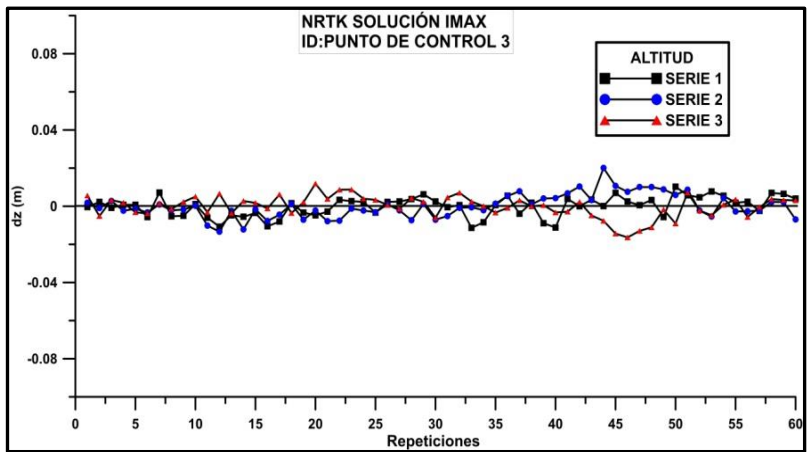
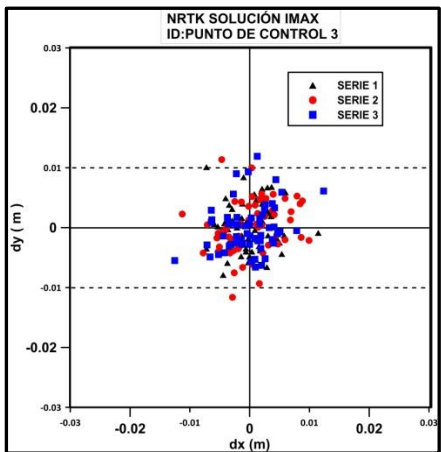
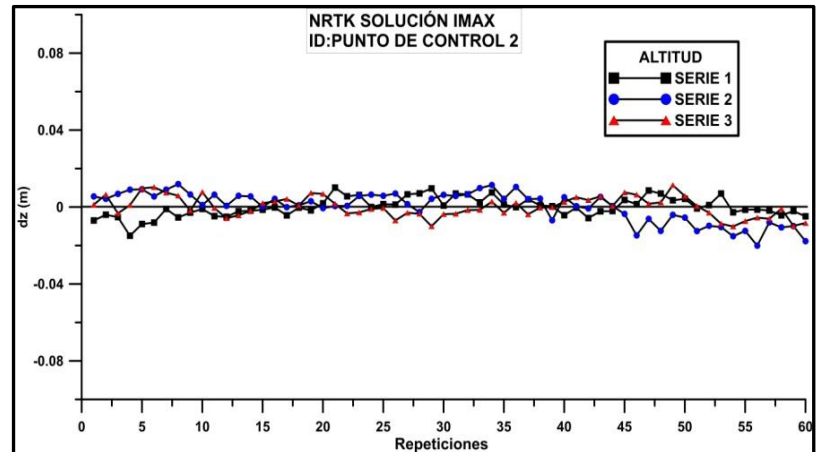
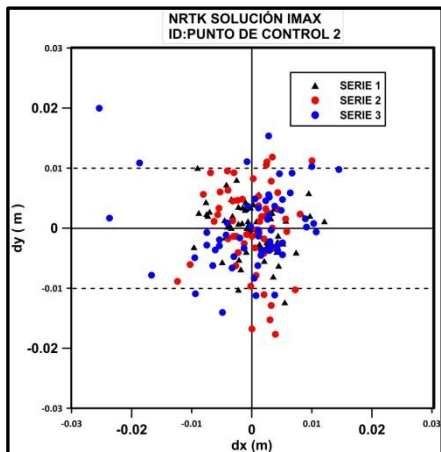
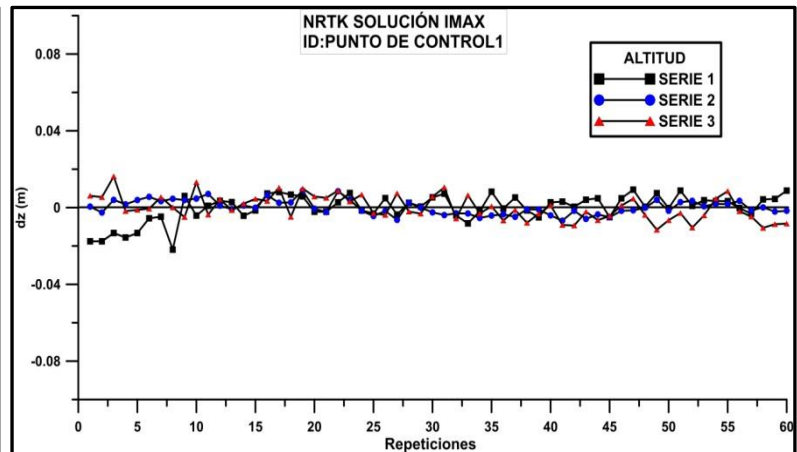
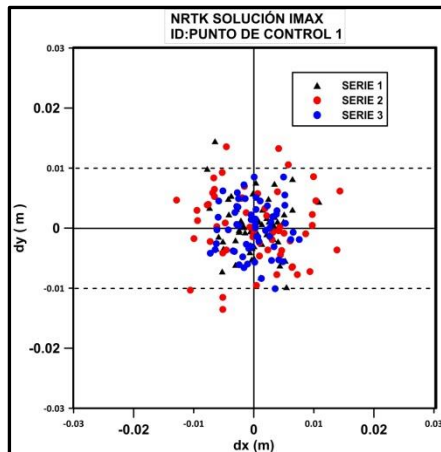


**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

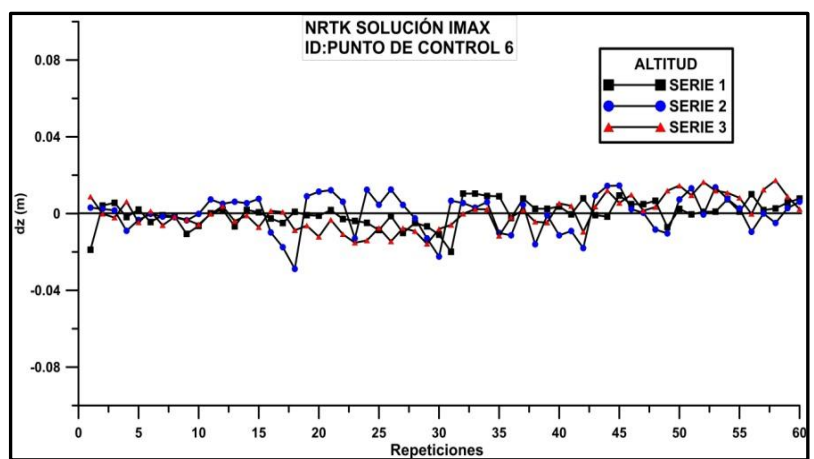
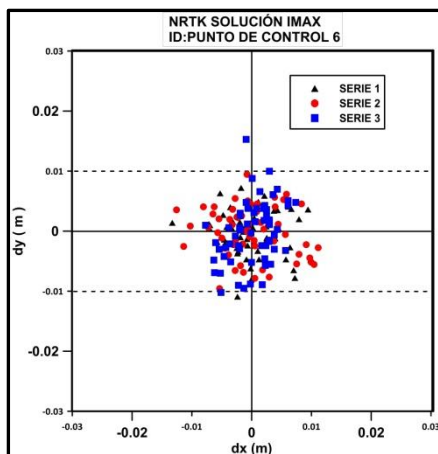
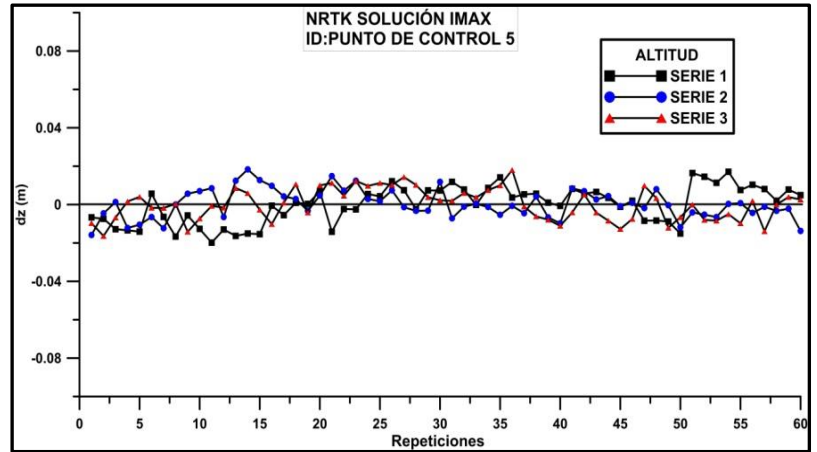
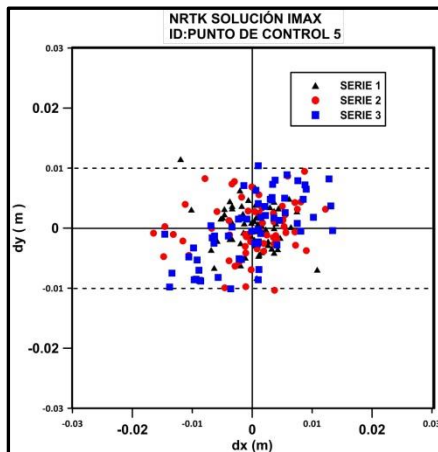
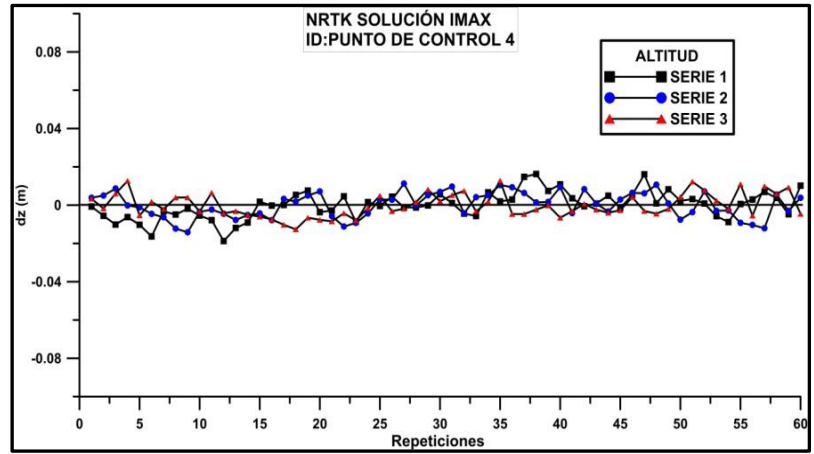
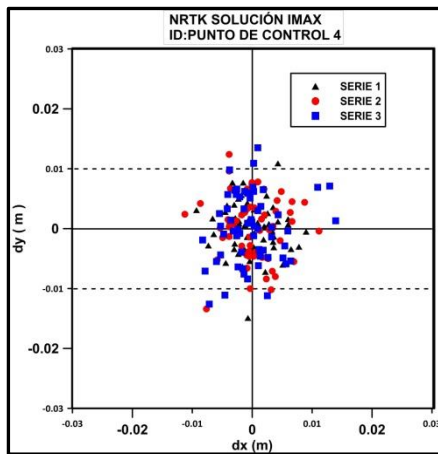


1.2.2.- CORRECCIONES IMAX

En los siguientes gráficos se representan las desviaciones en las componentes este, norte y vertical, respecto al valor más probable, utilizando solución de red y correcciones IMAX, en los seis puntos de control ensayados.



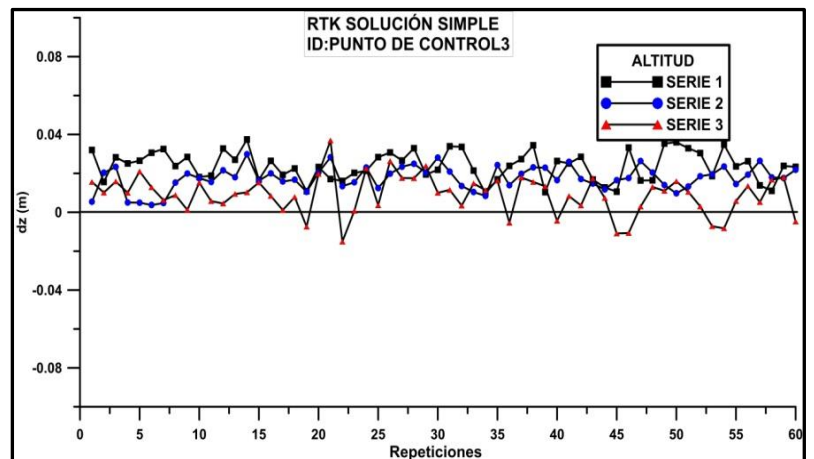
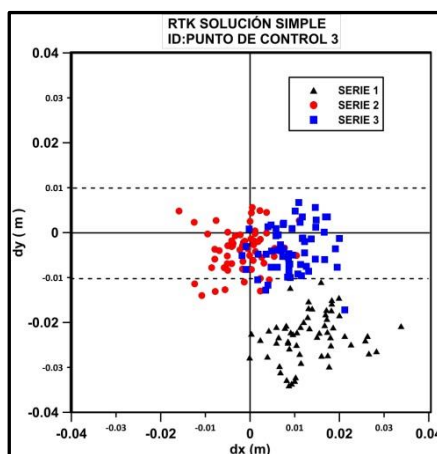
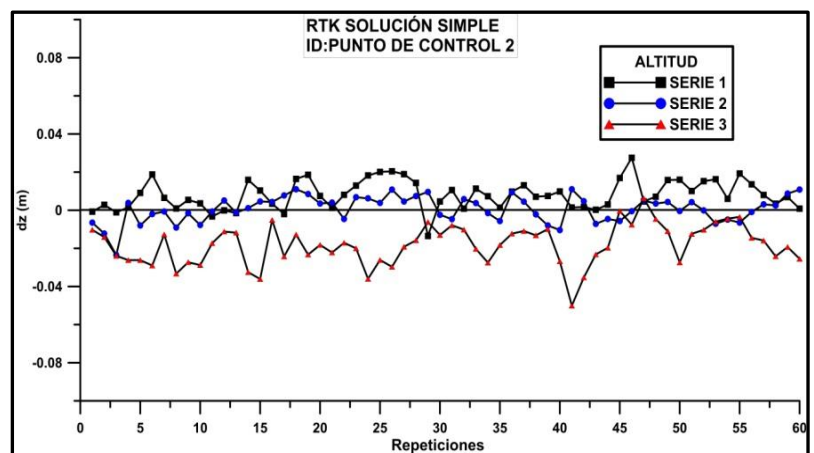
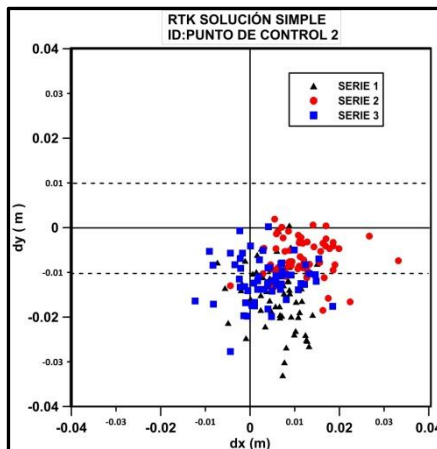
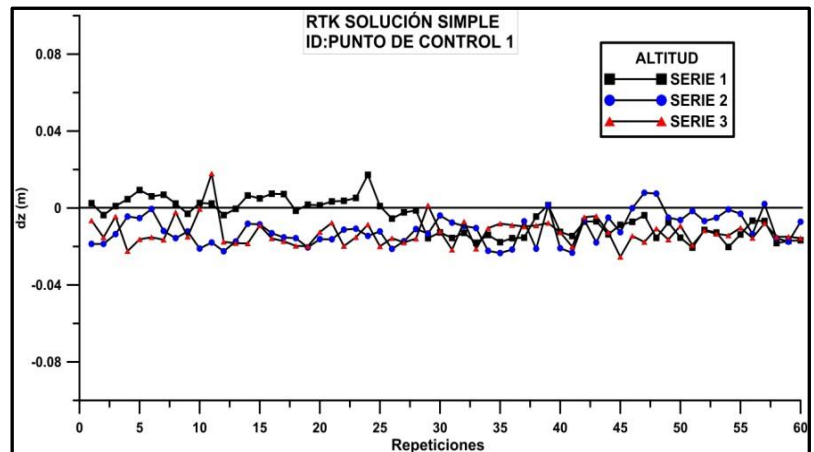
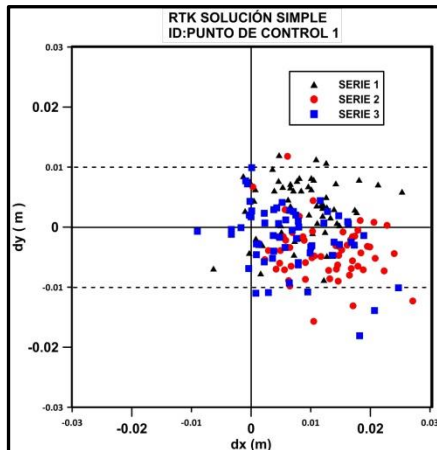
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



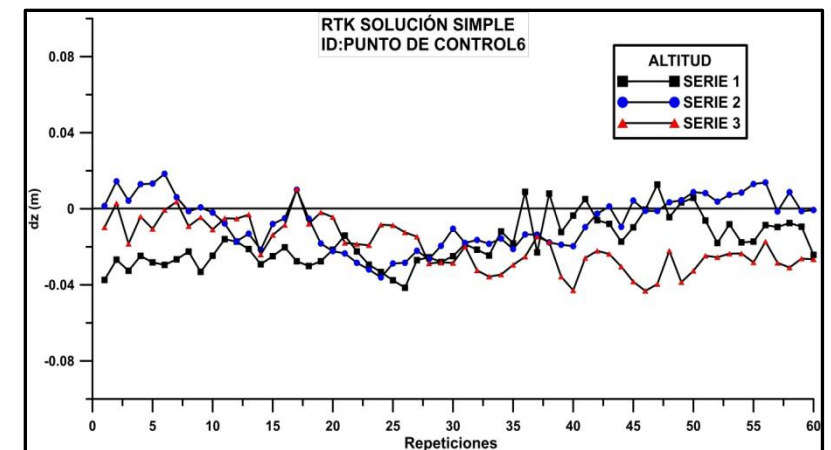
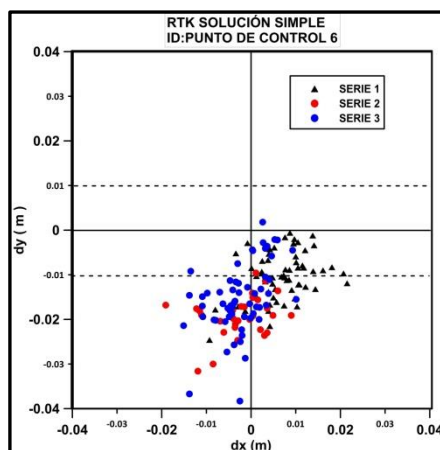
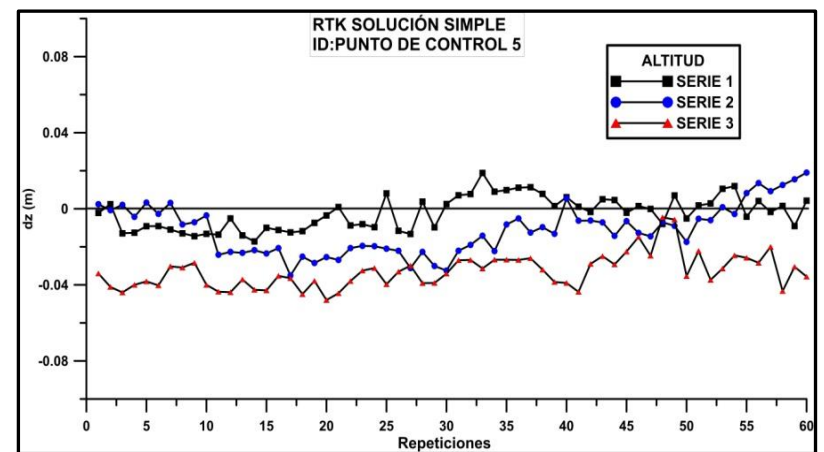
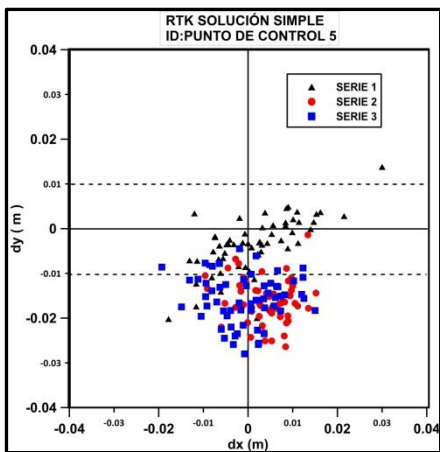
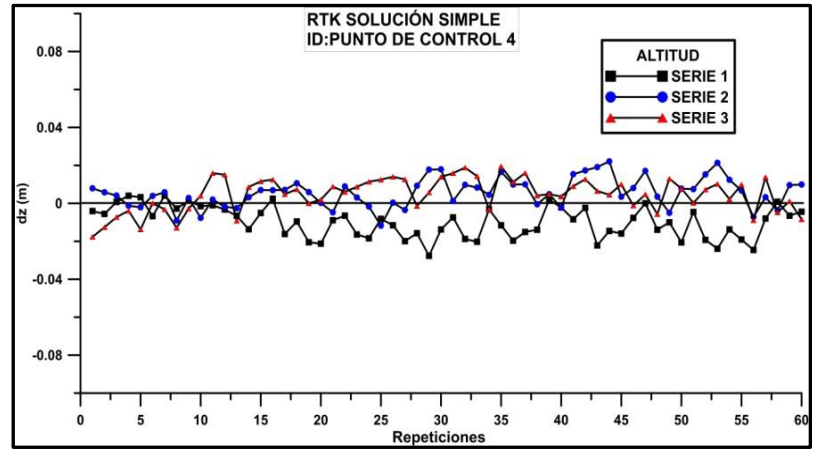
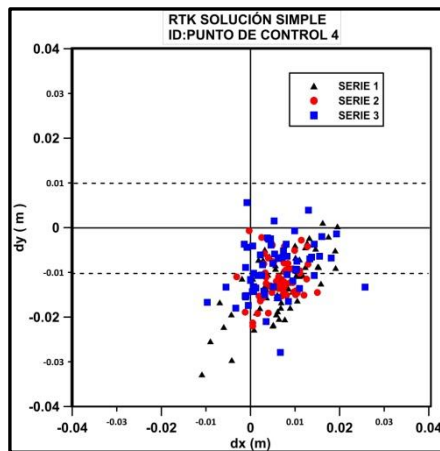
2.- EXACTITUD

2.1.- SOLUCIÓN SIMPLE

En los siguientes gráficos se puede observar las diferencias, respecto a la solución de postproceso, en las componentes este, norte y vertical. La solución utilizada es la denominada punto a punto o solución simple.



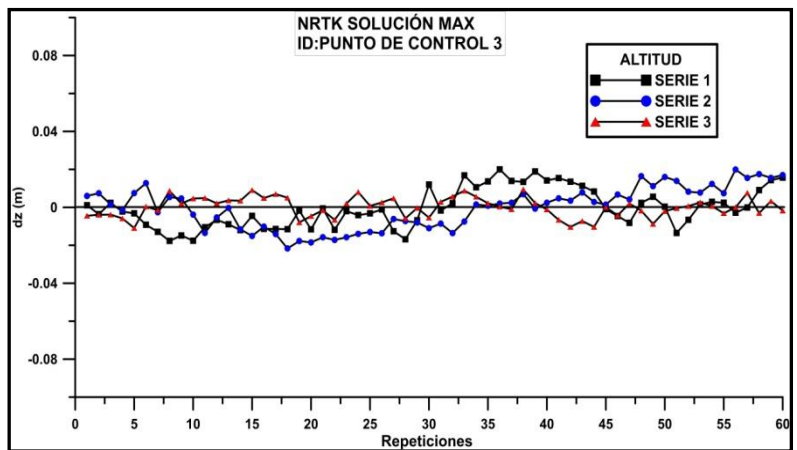
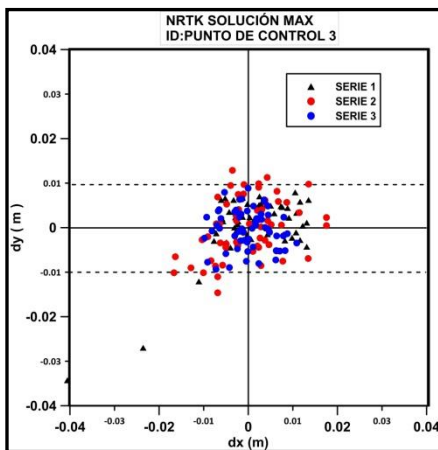
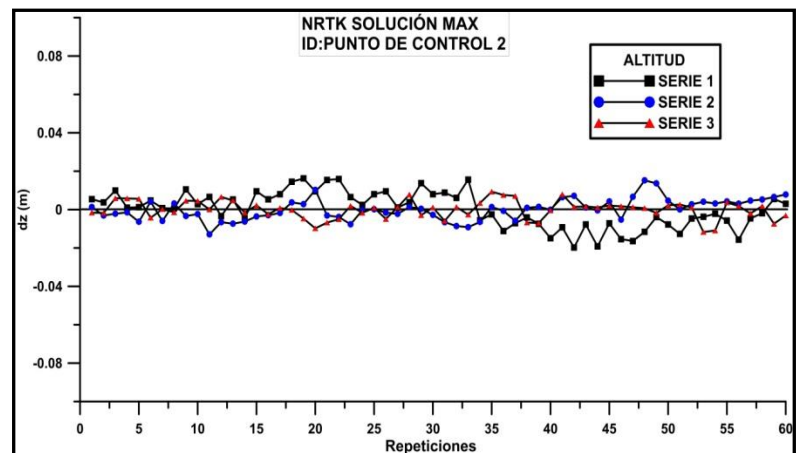
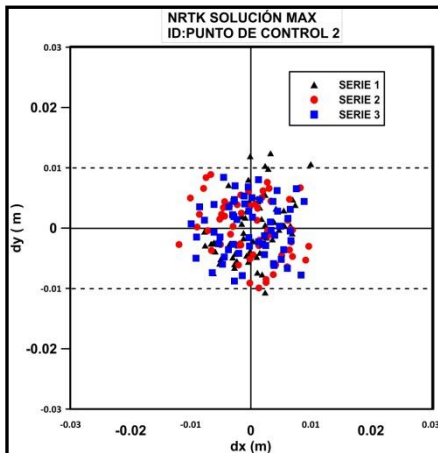
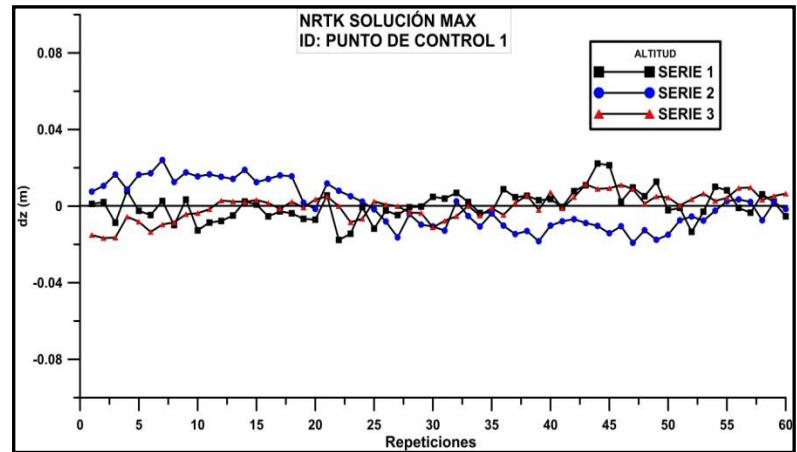
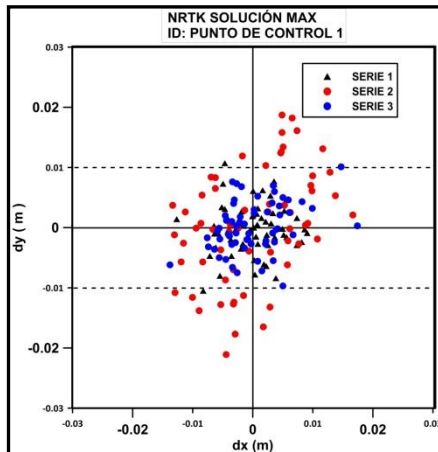
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



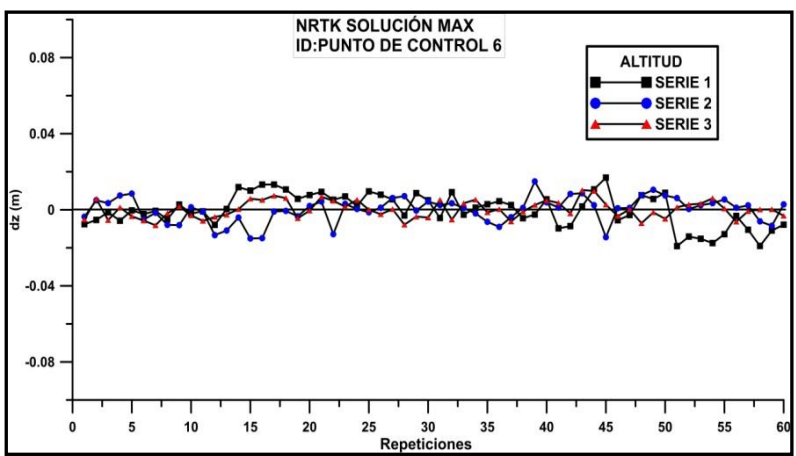
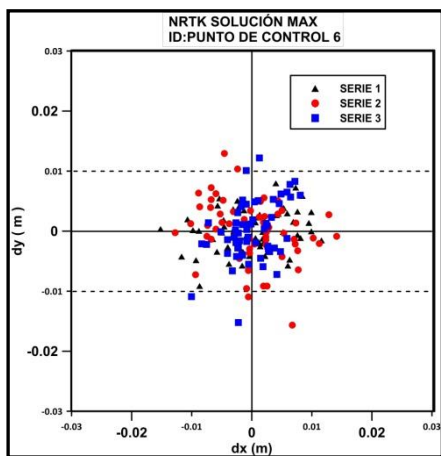
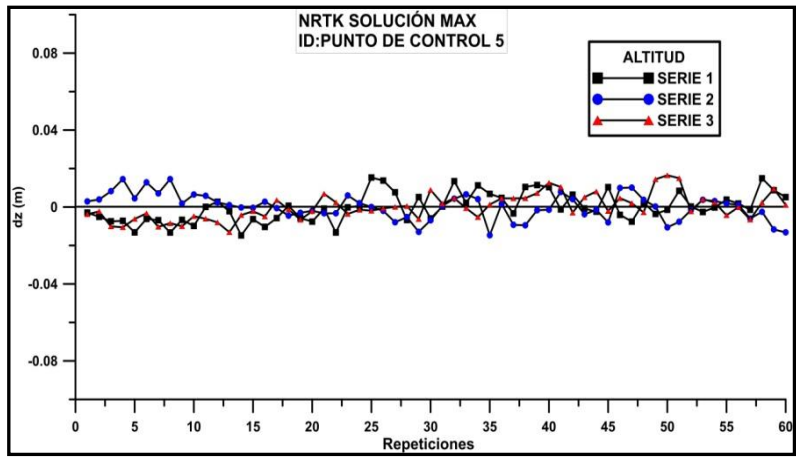
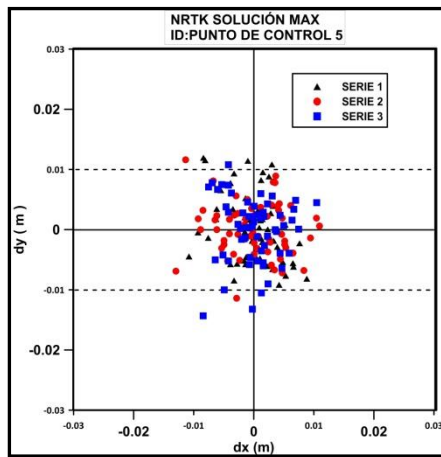
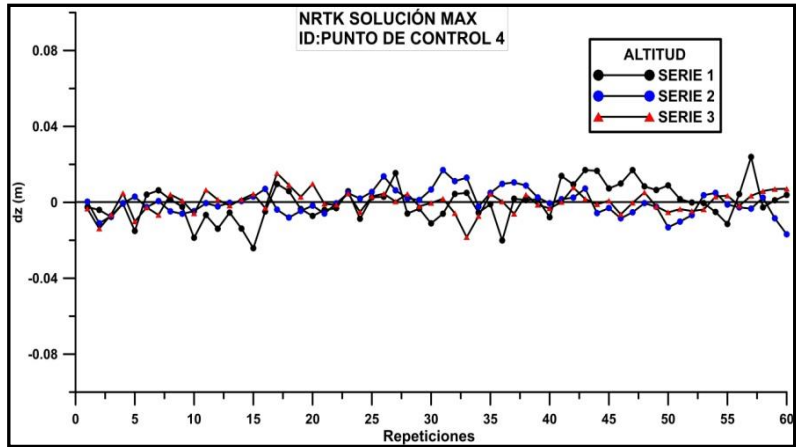
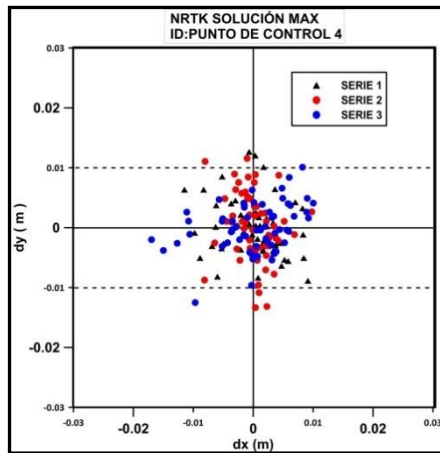
2.2.- SOLUCIÓN DE RED

2.2.1.- CORRECCIONES MAX

En los siguientes gráficos se representan las desviaciones en las componentes este, norte y vertical respecto al valor más probable, utilizando solución de red y correcciones MAX, en los seis puntos de control ensayados.

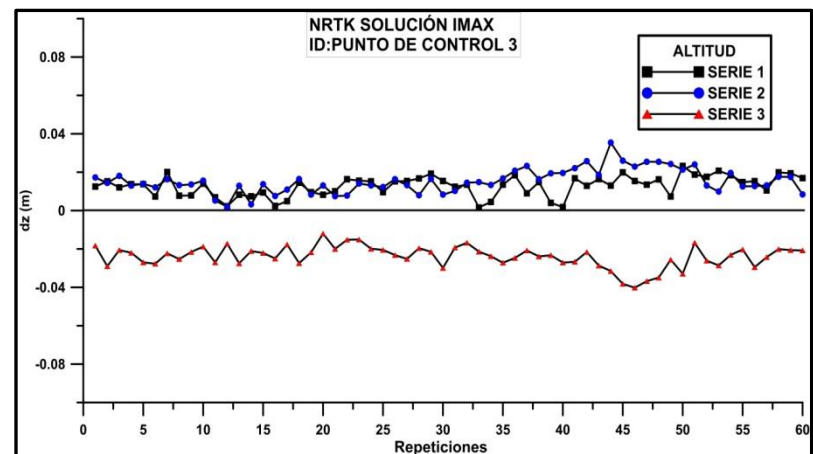
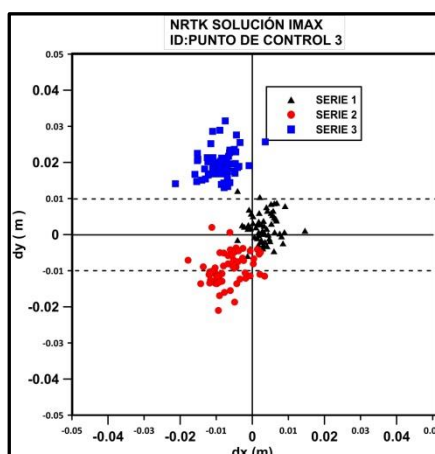
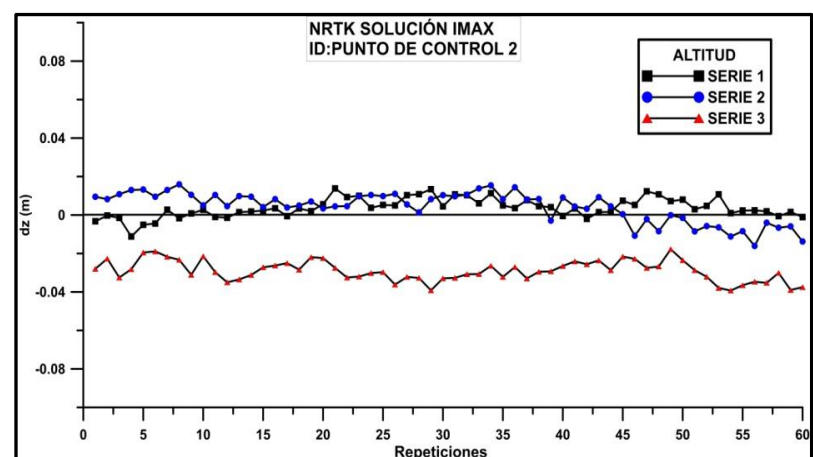
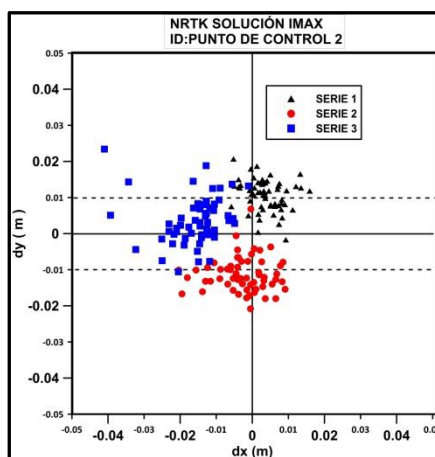
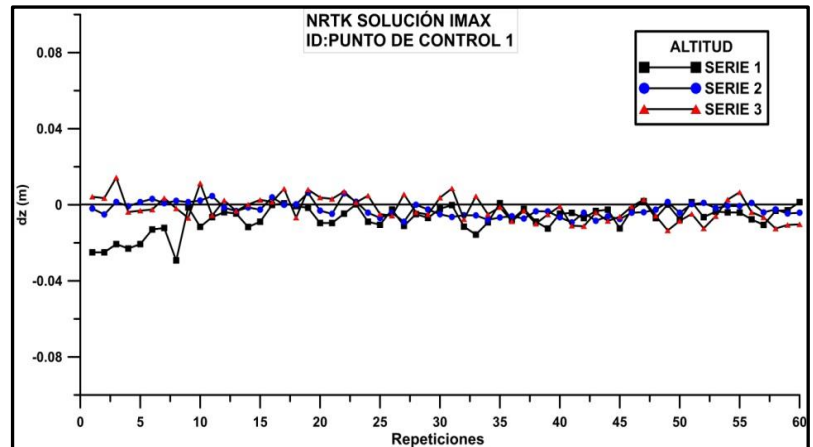
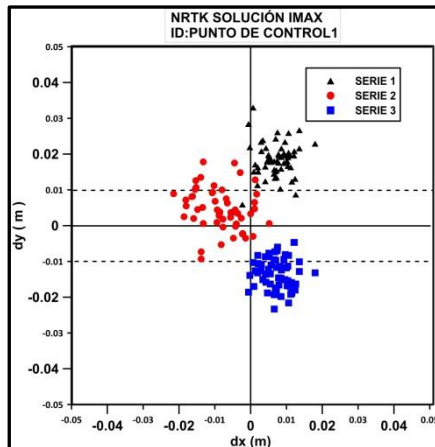


**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

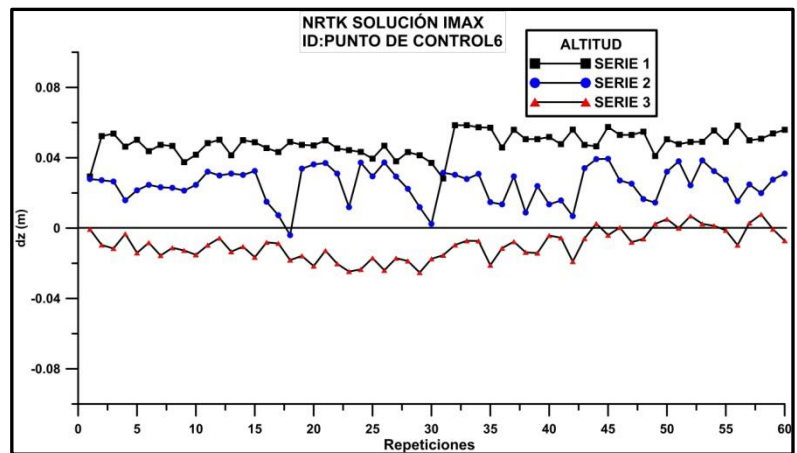
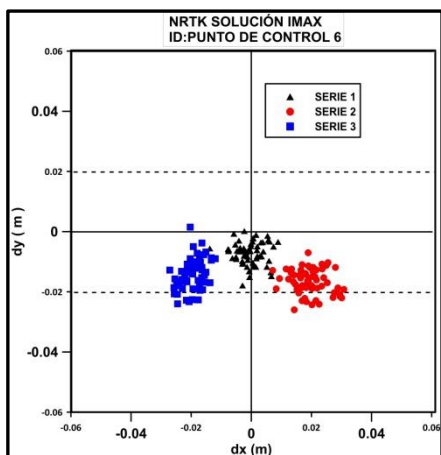
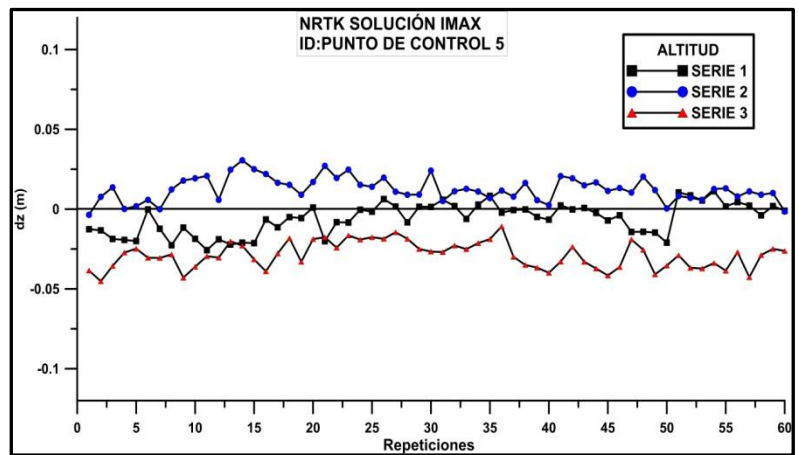
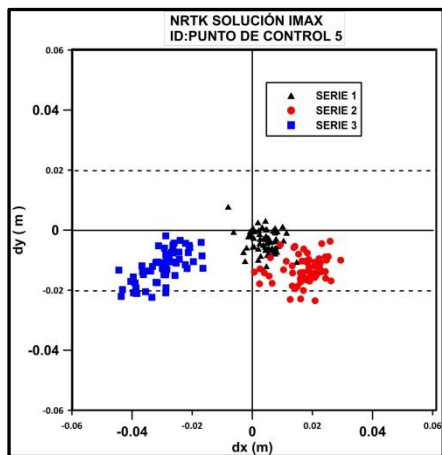
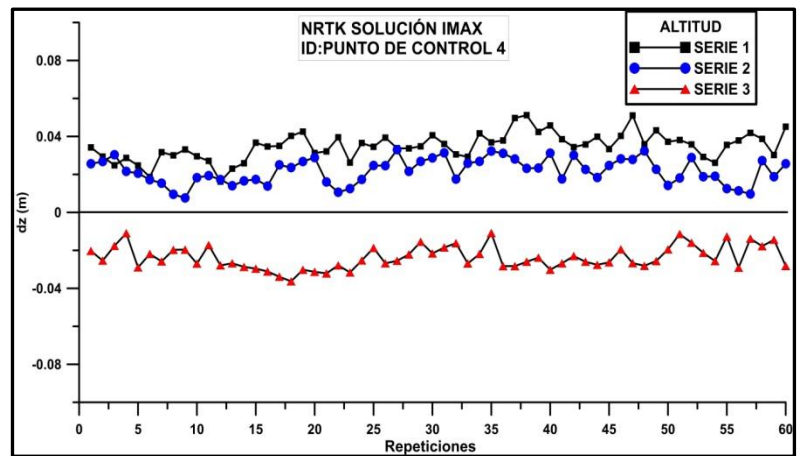
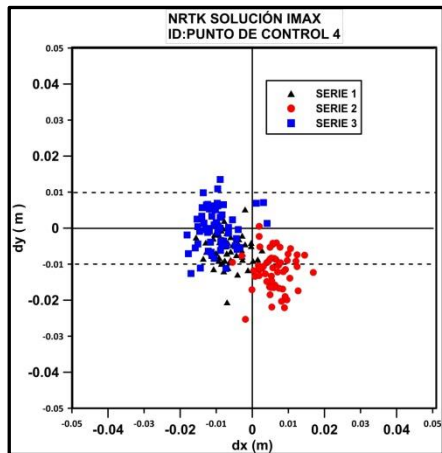


2.2.2.- CORRECCIONES IMAX

En los siguientes gráficos se pueden observar las diferencias, respecto a la solución de postproceso, en las componentes este, norte y vertical. Se utiliza, solución de red configurando el receptor con correcciones IMAX, en los seis puntos de control ensayados.

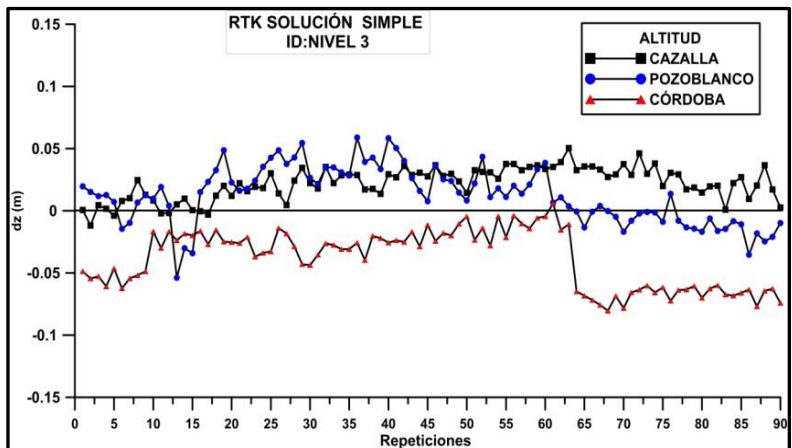
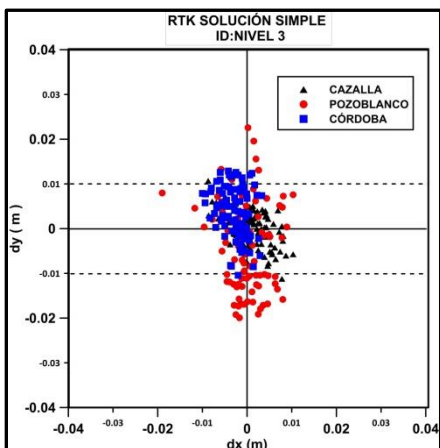
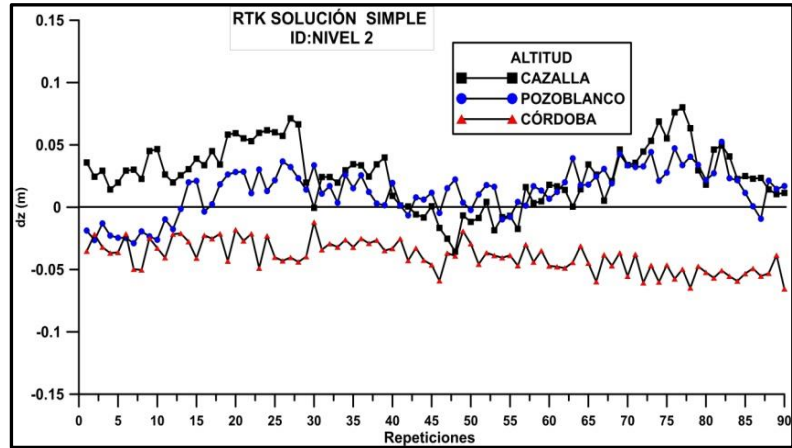
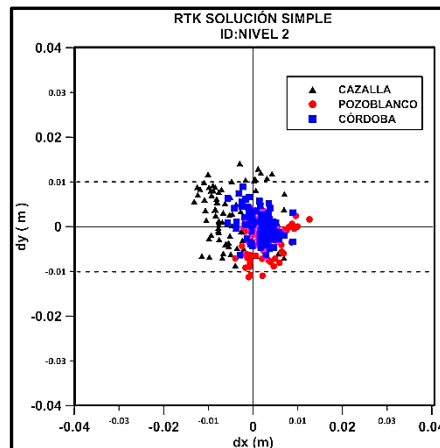
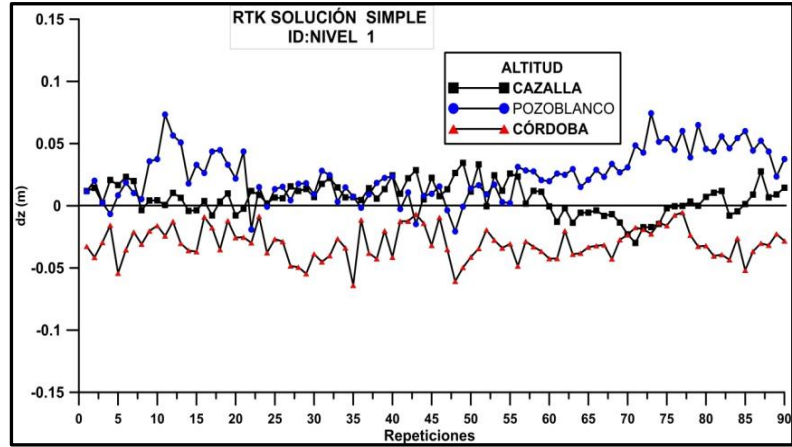
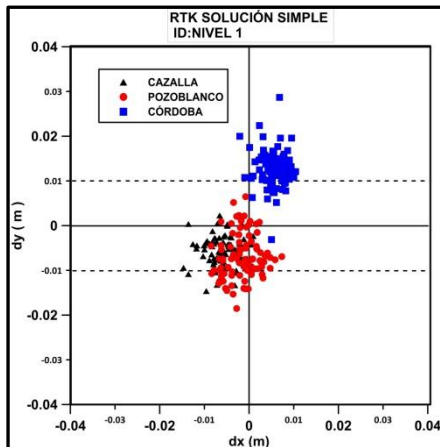


**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

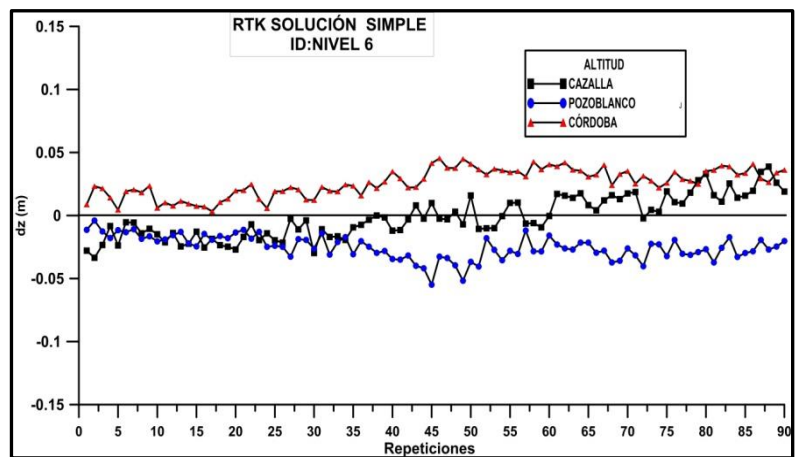
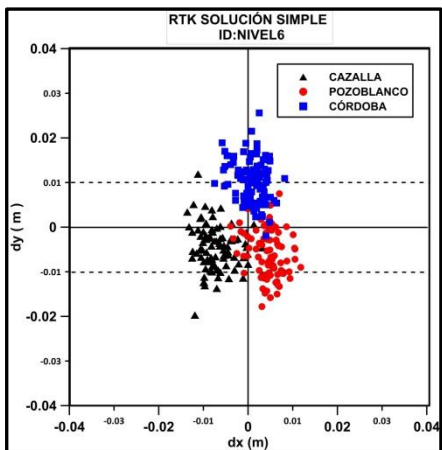
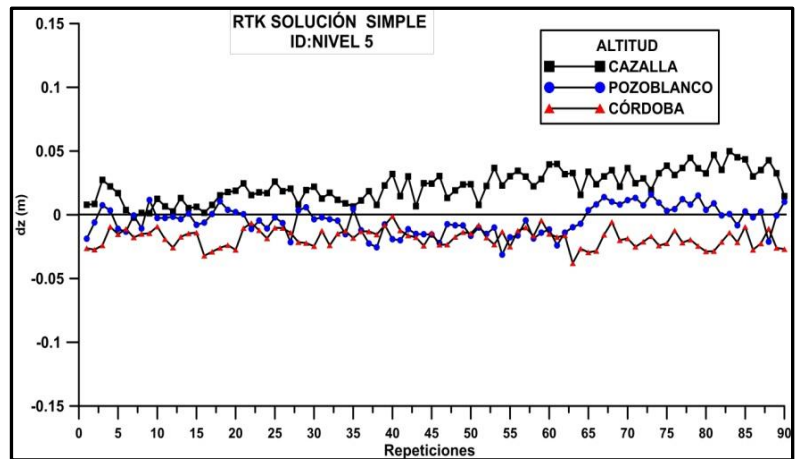
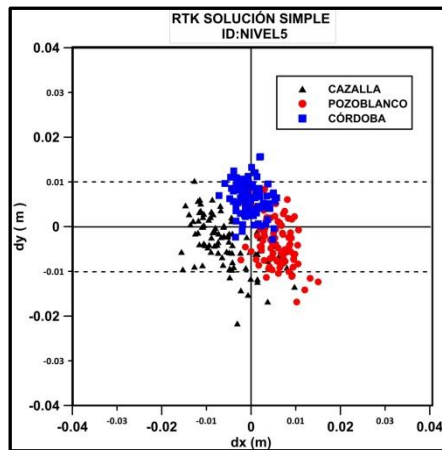
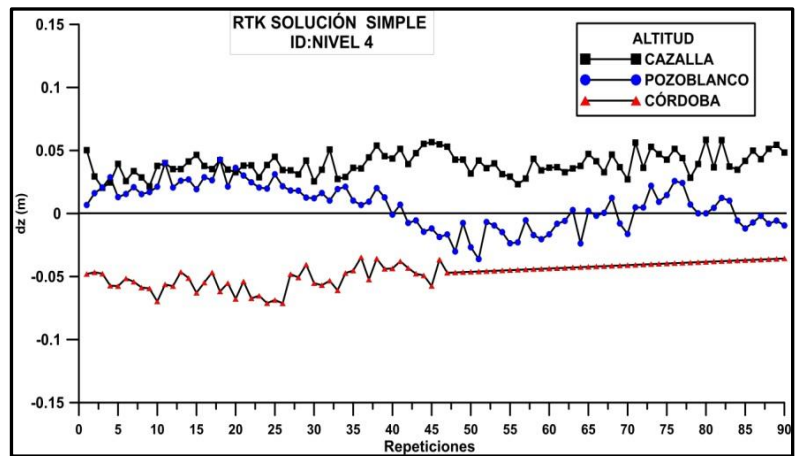
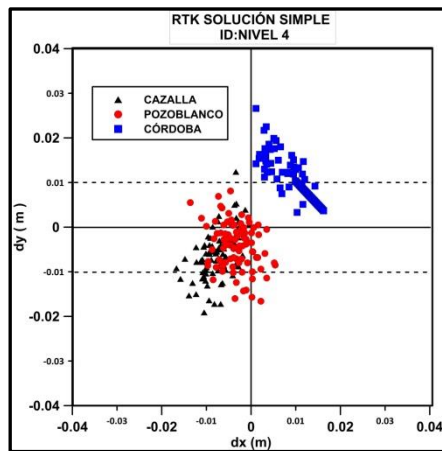


3.- REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

En los gráficos siguientes se presentan las discrepancias entre la media general y cada una de las tomas realizadas desde las tres estaciones de referencia, en los seis niveles ensayados, se utiliza solución simple desde la estación seleccionada.



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

ANEXO II.- PRUEBAS DE NORMALIDAD

ANEXO II.- PRUEBAS DE NORMALIDAD

1.- PRUEBAS DE NORMALIDAD

En las siguientes páginas, se muestran las pruebas realizadas a los datos obtenidos en las diferentes tomas realizadas en cada nivel de control, para comprobar si siguen una distribución normal y para determinar los valores de repetibilidad y reproducibilidad. Se ha utilizado el programa IBM- SPSS statistic.

1.1.- TOMA DESDE LA ESTACIÓN DE REFERENCIA, CAZALLA

1.1.1.- NIVEL 1

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CAZALLA\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL 1.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 1	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

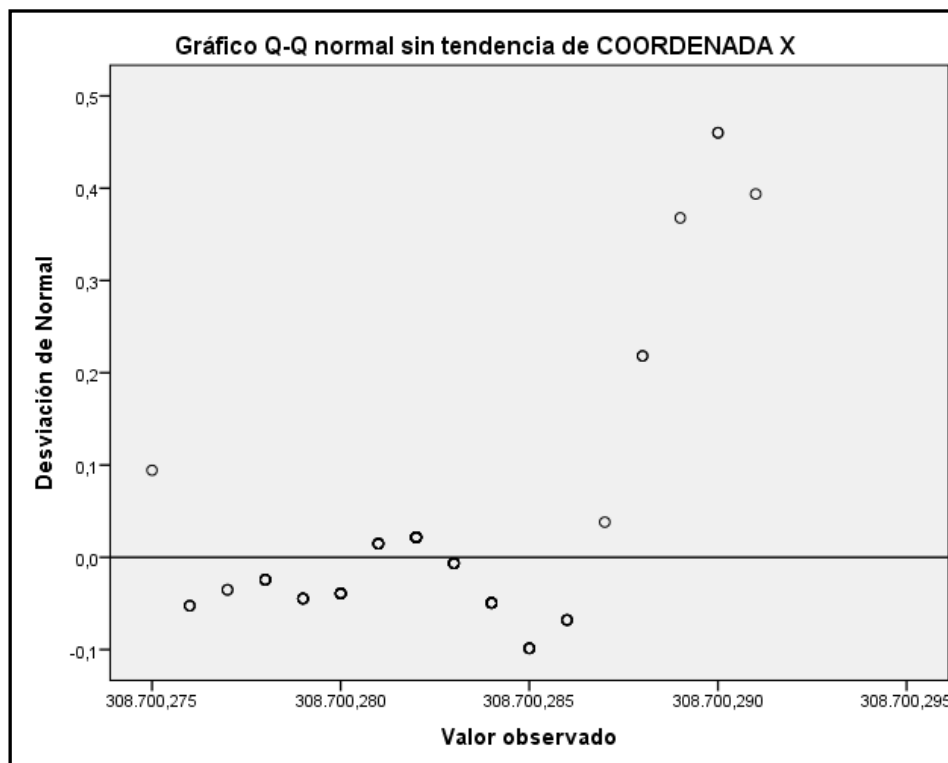
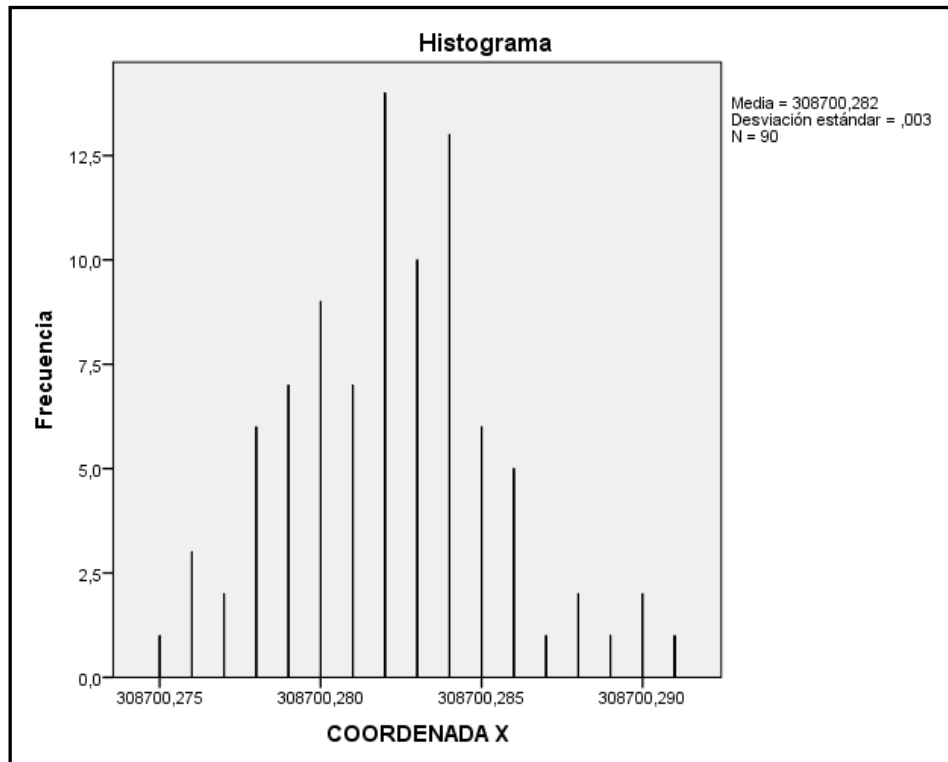
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	308700,28220	,000346
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	308700,28151 308700,28289
	Media recortada al 5%	308700,28213	
	Mediana	308700,28200	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003278	
	Mínimo	308700,275	
	Máximo	308700,291	
	Rango	,016	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	,255	,254
	Curtosis	,153	,503
COORDENADA Y	Media	4240638,59912	,000340
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4240638,59845 4240638,59980
	Media recortada al 5%	4240638,59909	
	Mediana	4240638,59900	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003225	
	Mínimo	4,241E+06	
	Máximo	4,241E+06	
	Rango	,017	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	,107	,254
	Curtosis	,358	,503
COORDENADA Z	Media	566,01440	,001323
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	566,01177 566,01703
	Media recortada al 5%	566,01422	
	Mediana	566,01400	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,012546	
	Mínimo	565,986	
	Máximo	566,051	
	Rango	,065	
	Rango intercuartil	,016	
	Asimetría	,200	,254
	Curtosis	,183	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

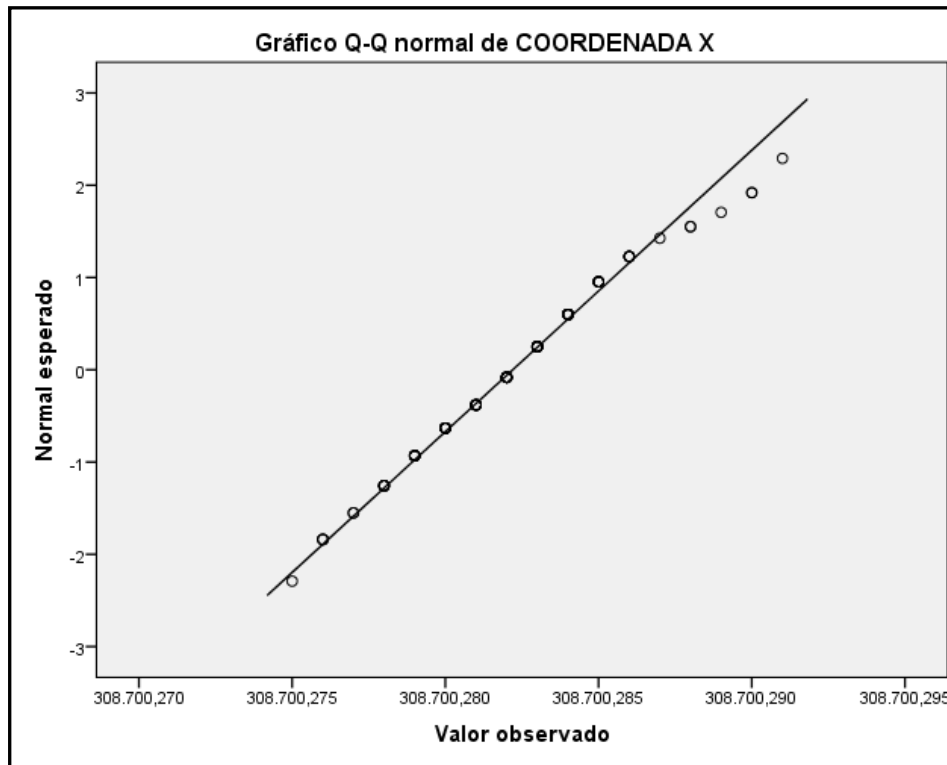
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	88	308700,291
		2	6	308700,290
		3	49	308700,290
		4	15	308700,289
		5	12	308700,288 ^a
	Menor	1	62	308700,275
		2	60	308700,276
		3	59	308700,276
		4	43	308700,276
		5	73	308700,277 ^b
COORDENADA Y	Mayor	1	3	4,241E+06
		2	35	4,241E+06
		3	36	4,241E+06
		4	6	4,241E+06
		5	14	4,241E+6 ^c
	Menor	1	48	4,241E+06
		2	90	4,241E+06
		3	67	4,241E+06
		4	55	4,241E+06
		5	49	4,241E+6 ^d
COORDENADA Z	Mayor	1	71	566,051
		2	70	566,044
		3	72	566,038
		4	73	566,038
		5	74	566,035
	Menor	1	49	565,986
		2	51	565,988
		3	43	565,992
		4	87	565,993
		5	48	565,994

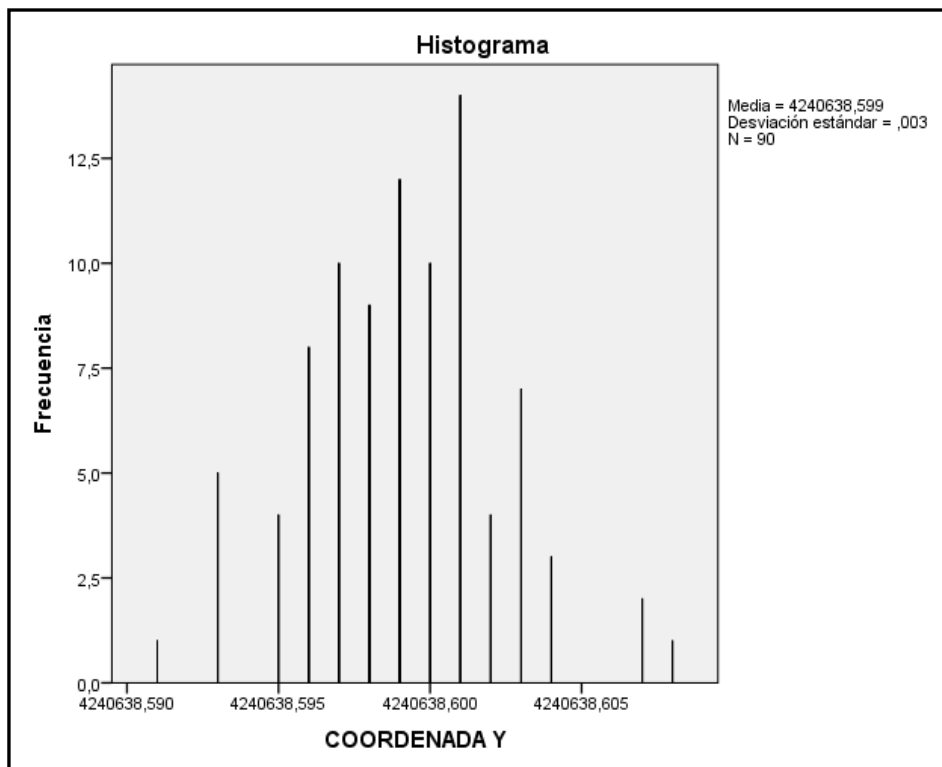
COORDENADA X



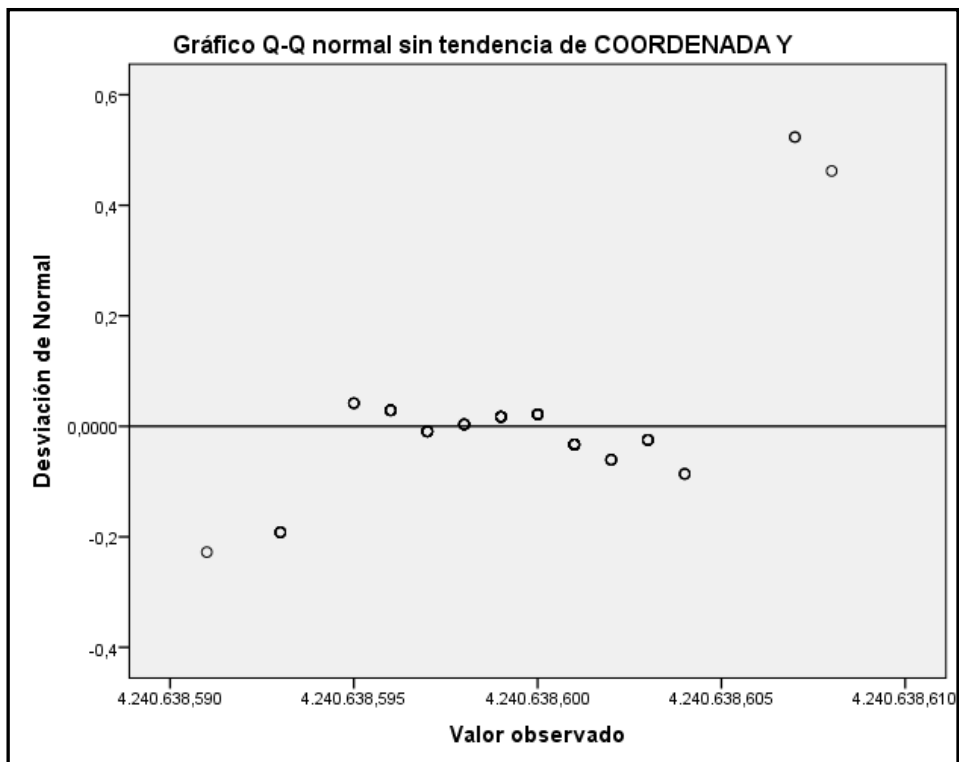
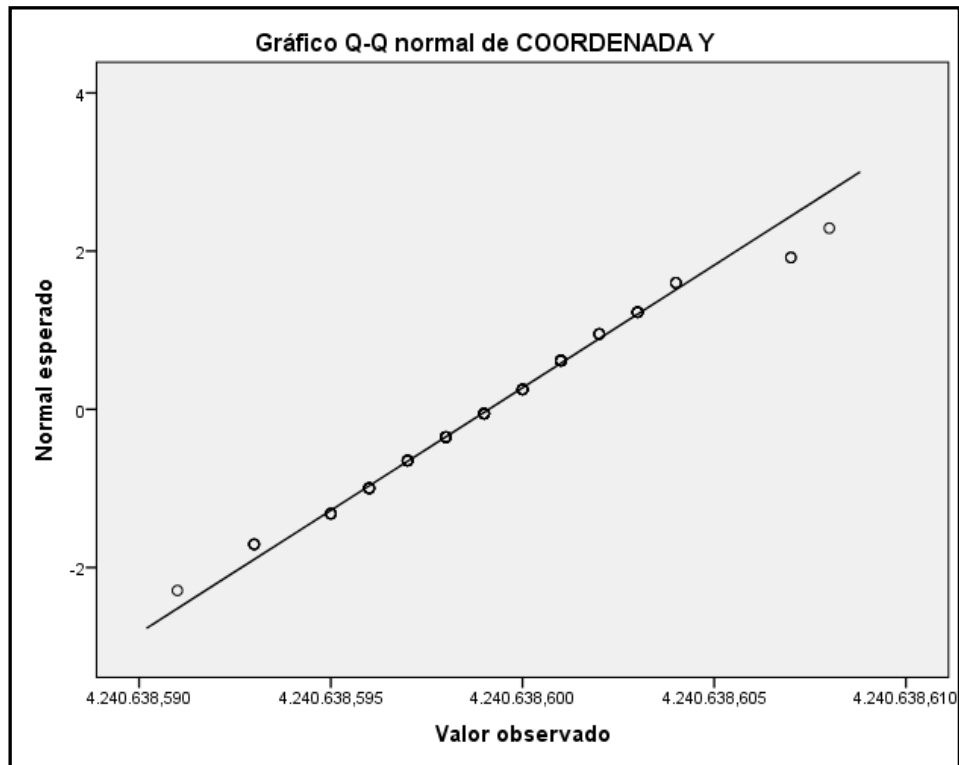
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



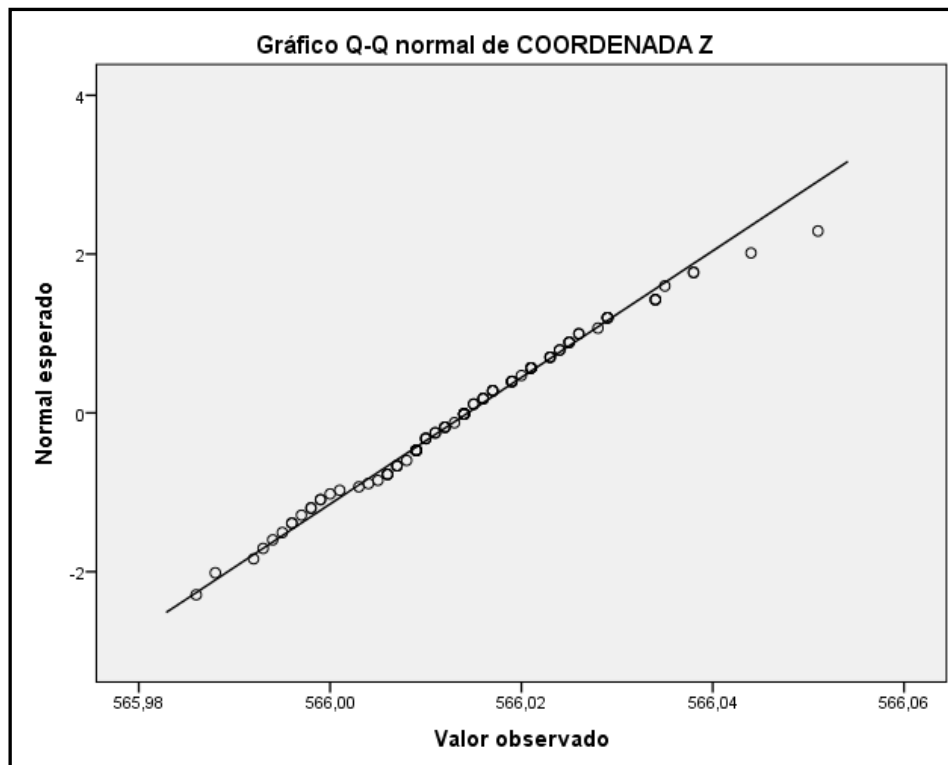
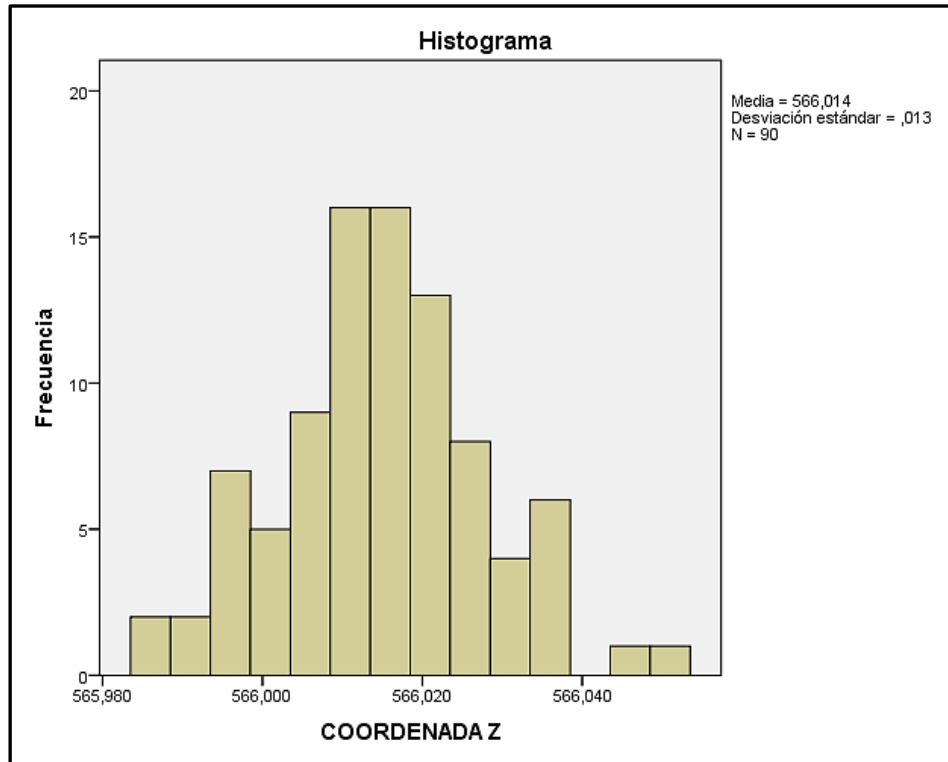
COORDENADA Y



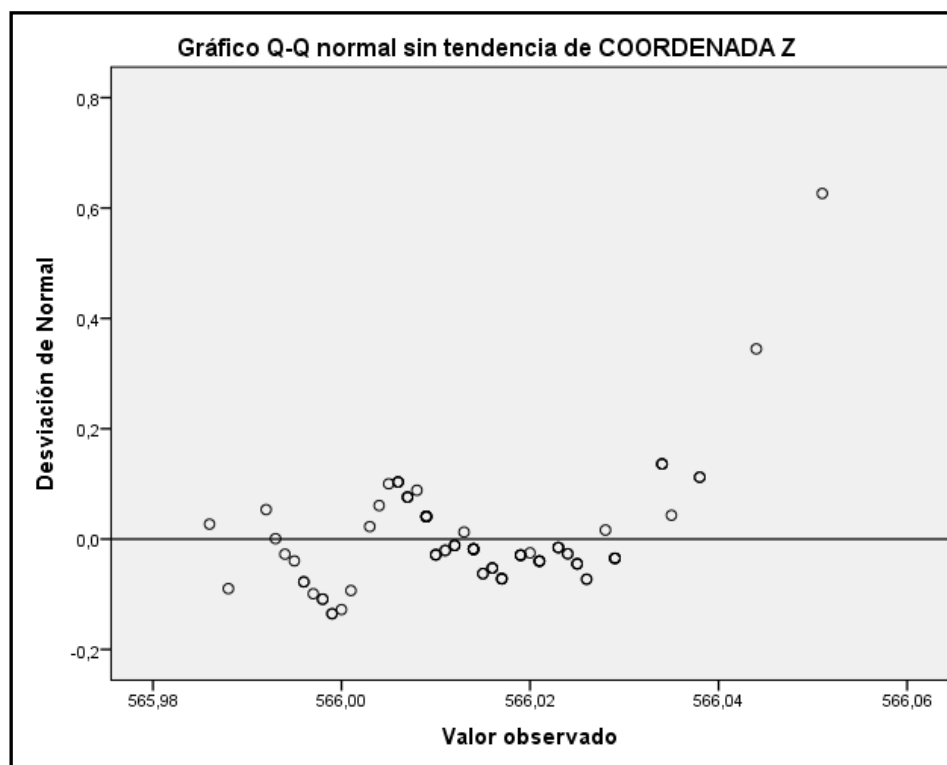
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.1.2.- NIVEL 2

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CAZALLA\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL2 sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 2	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

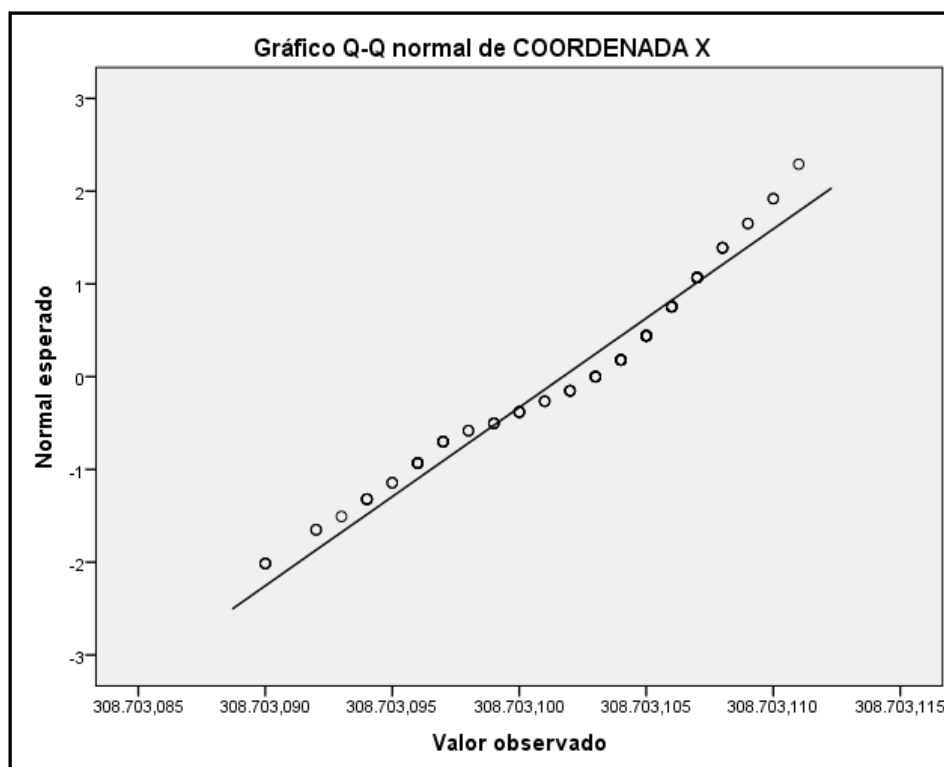
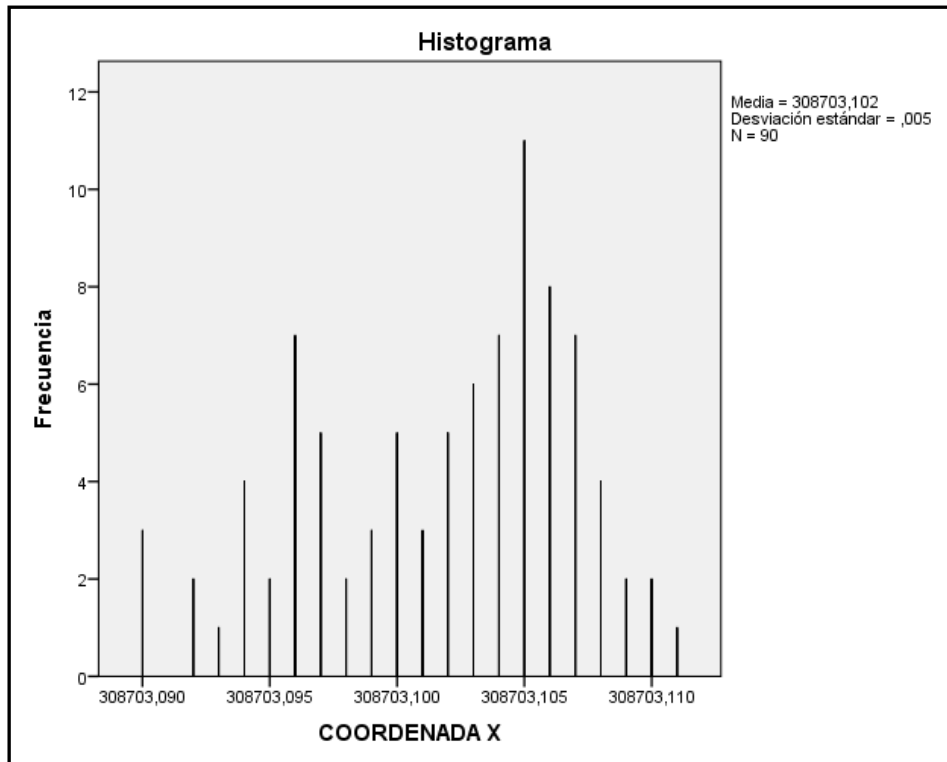
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	308703,10172	,000548
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 308703,10063	
		Límite superior 308703,10281	
	Media recortada al 5%	308703,10188	
	Mediana	308703,10300	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005199	
	Mínimo	308703,090	
	Máximo	308703,111	
	Rango	,021	
	Rango intercuartil	,009	
	Asimetría	-,489	,254
	Curtosis	-,680	,503
COORDENADA Y	Media	4240601,79121	,000591
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 4240601,79004	
		Límite superior 4240601,79239	
	Media recortada al 5%	4240601,79122	
	Mediana	4240601,79100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005608	
	Mínimo	4,241E+06	
	Máximo	4,241E+06	
	Rango	,022	
	Rango intercuartil	,009	
	Asimetría	,002	,254
	Curtosis	-,970	,503
COORDENADA Z	Media	566,03439	,002592
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 566,02924	
		Límite superior 566,03954	
	Media recortada al 5%	566,03428	
	Mediana	566,03550	
	Varianza	,001	
	Desviación estándar	,024586	
	Mínimo	565,980	
	Máximo	566,096	
	Rango	,116	
	Rango intercuartil	,034	
	Asimetría	,048	,254
	Curtosis	-,332	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

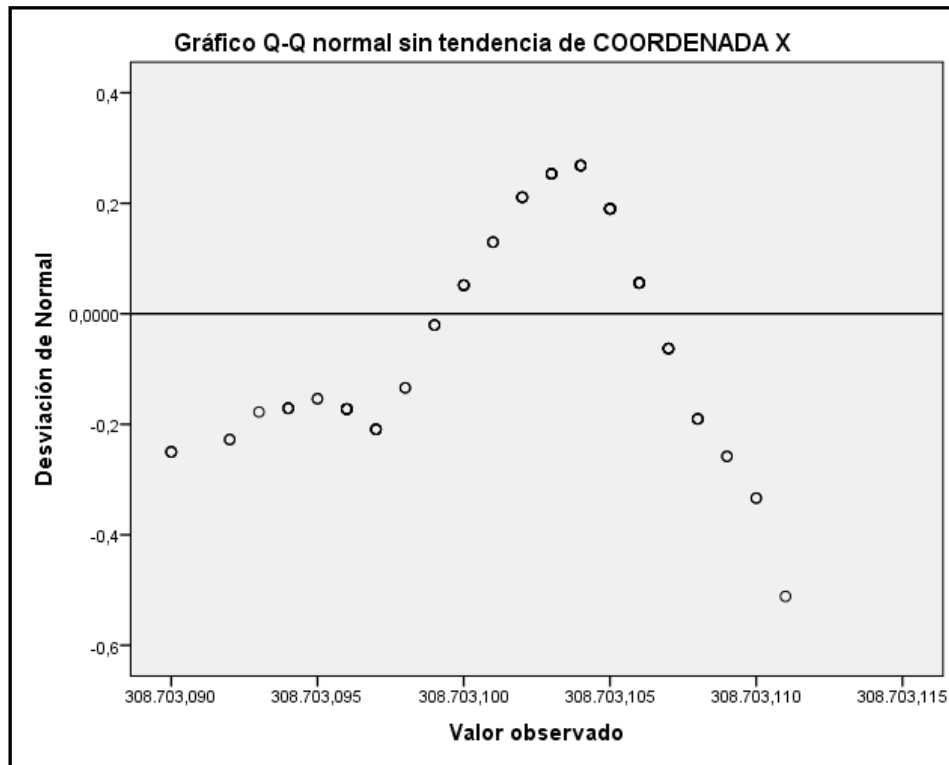
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	5	308703,111
		2	1	308703,110
		3	13	308703,110
		4	11	308703,109
		5	90	308703,109
	Menor	1	42	308703,090
		2	39	308703,090
		3	35	308703,090
		4	44	308703,092
		5	41	308703,092
COORDENADA Y	Mayor	1	56	4,241E+06
		2	42	4,241E+06
		3	59	4,241E+06
		4	44	4,241E+06
		5	48	4,241E+6 ^a
	Menor	1	27	4,241E+06
		2	23	4,241E+06
		3	36	4,241E+06
		4	24	4,241E+06
		5	10	4,241E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	48	566,096
		2	47	566,086
		3	53	566,079
		4	56	566,078
		5	46	566,077
	Menor	1	77	565,980
		2	76	565,984
		3	27	565,989
		4	74	565,991
		5	28	565,994

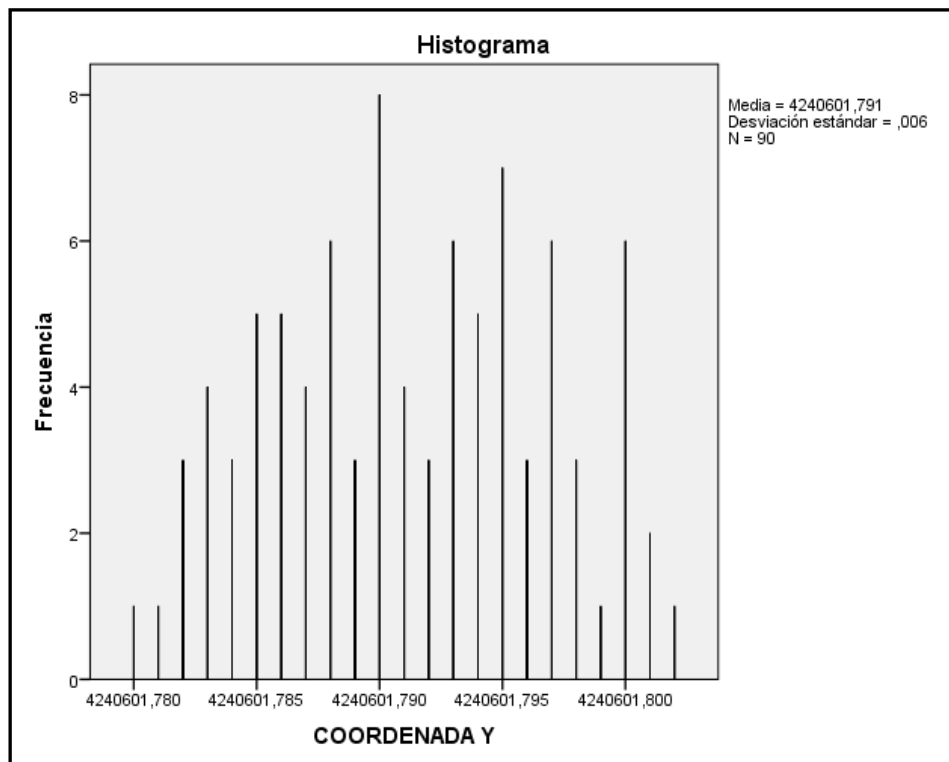
COORDENADA X



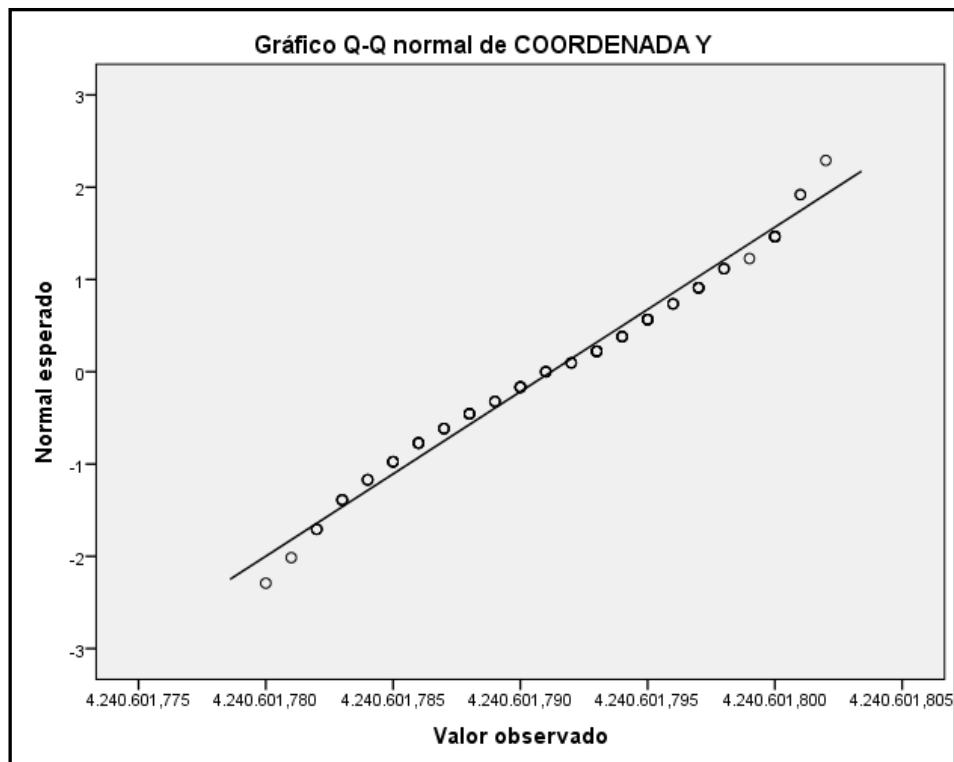
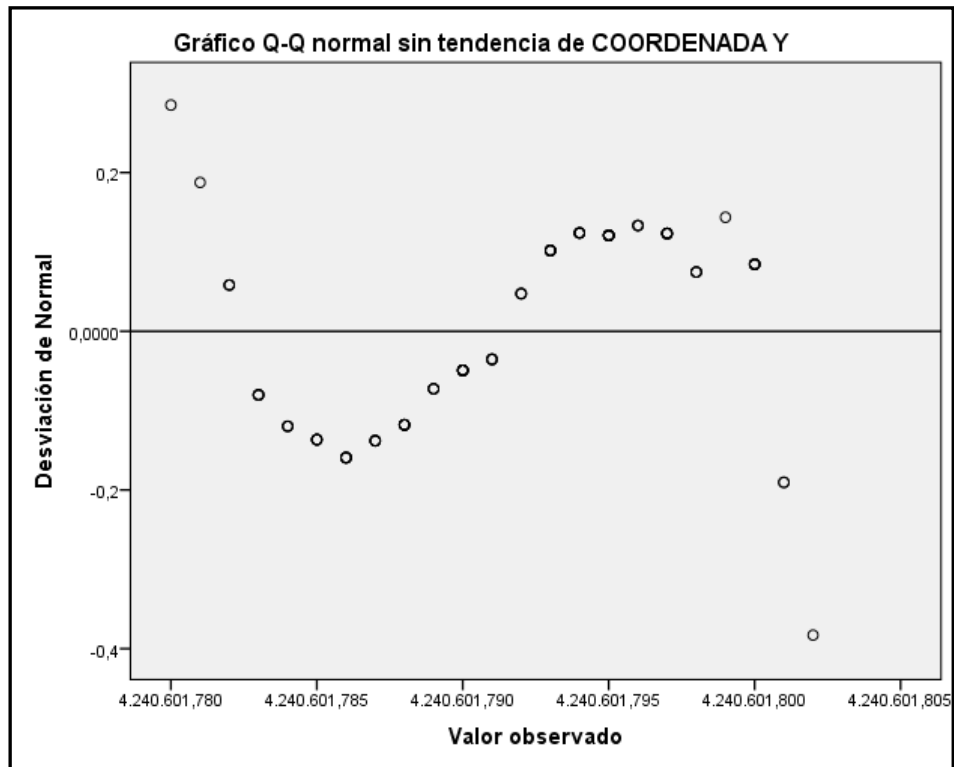
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Y

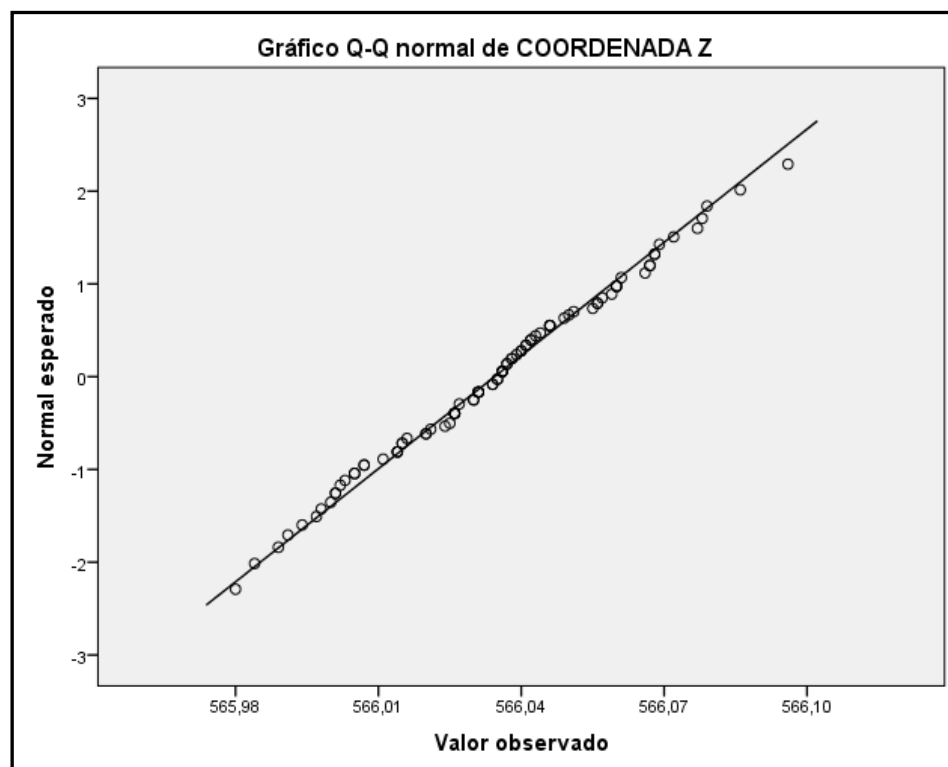
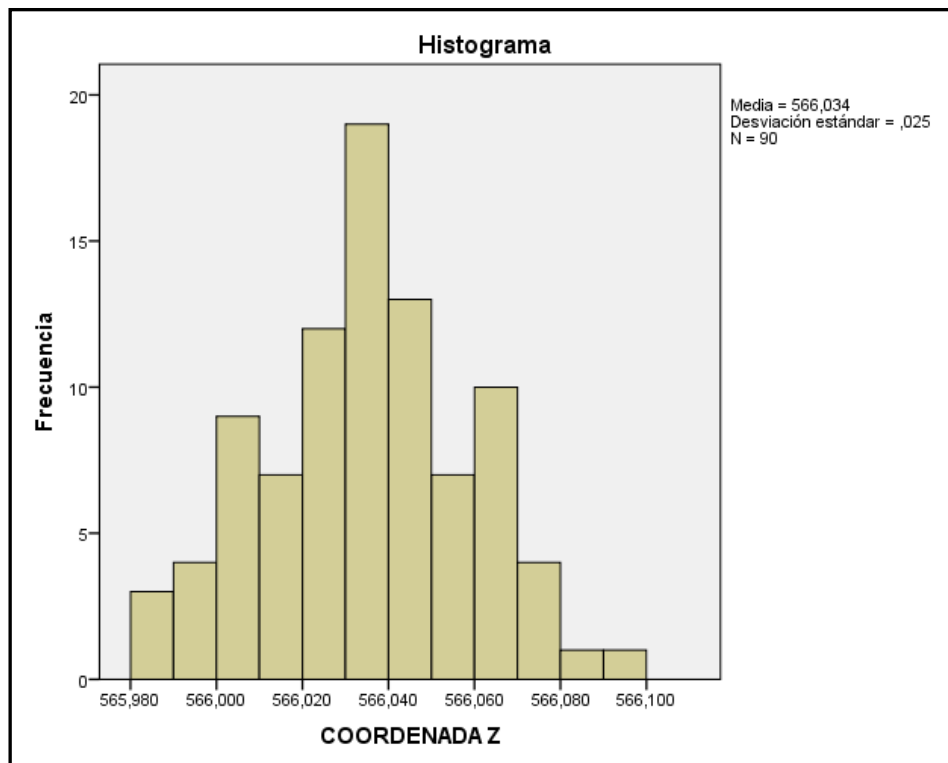


**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

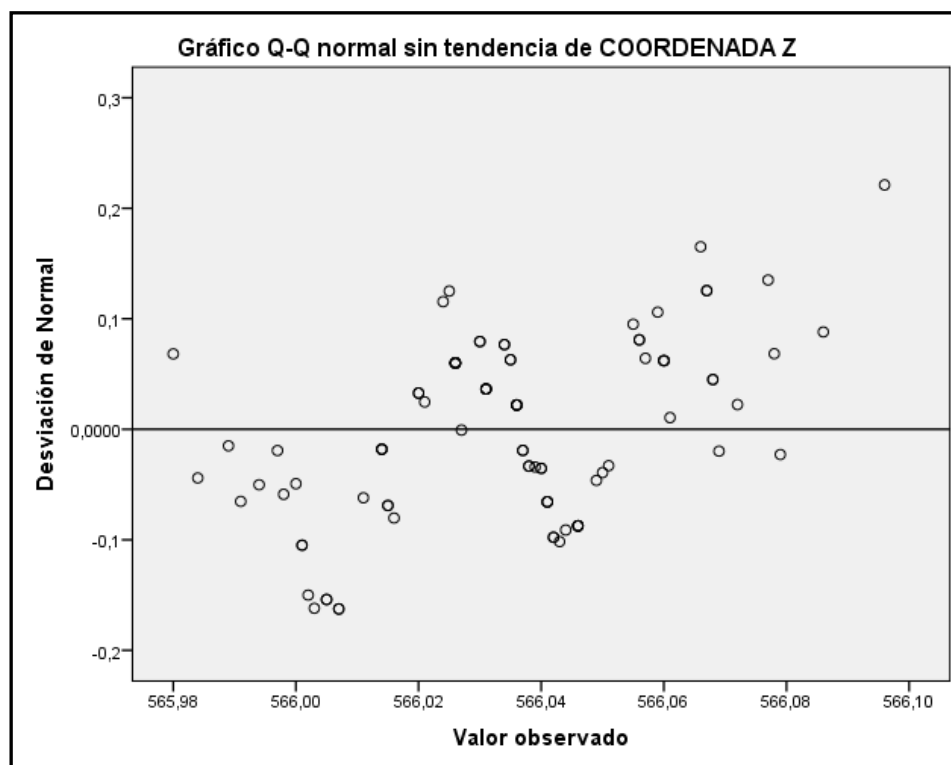


**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.1.3.- NIVEL 3

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CAZALLA\ANALISIS DE DATOS\NIVEL 3.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 3	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

DESCRIPTIVOS

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	308699,54057	,000426
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	308699,53972 308699,54141
	Media recortada al 5%	308699,54044	
	Mediana	308699,54100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004045	
	Mínimo	308699,532	
	Máximo	308699,551	
	Rango	,019	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	,394	,254
	Curtosis	,114	,503
COORDENADA Y	Media	4240577,13649	,000426
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4240577,13564 4240577,13734
	Media recortada al 5%	4240577,13644	
	Mediana	4240577,13600	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004045	
	Mínimo	4,241E+06	
	Máximo	4,241E+06	
	Rango	,022	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	,218	,254
	Curtosis	-,023	,503
COORDENADA Z	Media	565,90753	,001367
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	565,90482 565,91025
	Media recortada al 5%	565,90722	
	Mediana	565,90550	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,012973	
	Mínimo	565,879	
	Máximo	565,941	
	Rango	,062	
	Rango intercuartil	,018	
	Asimetría	,452	,254
	Curtosis	-,436	,503

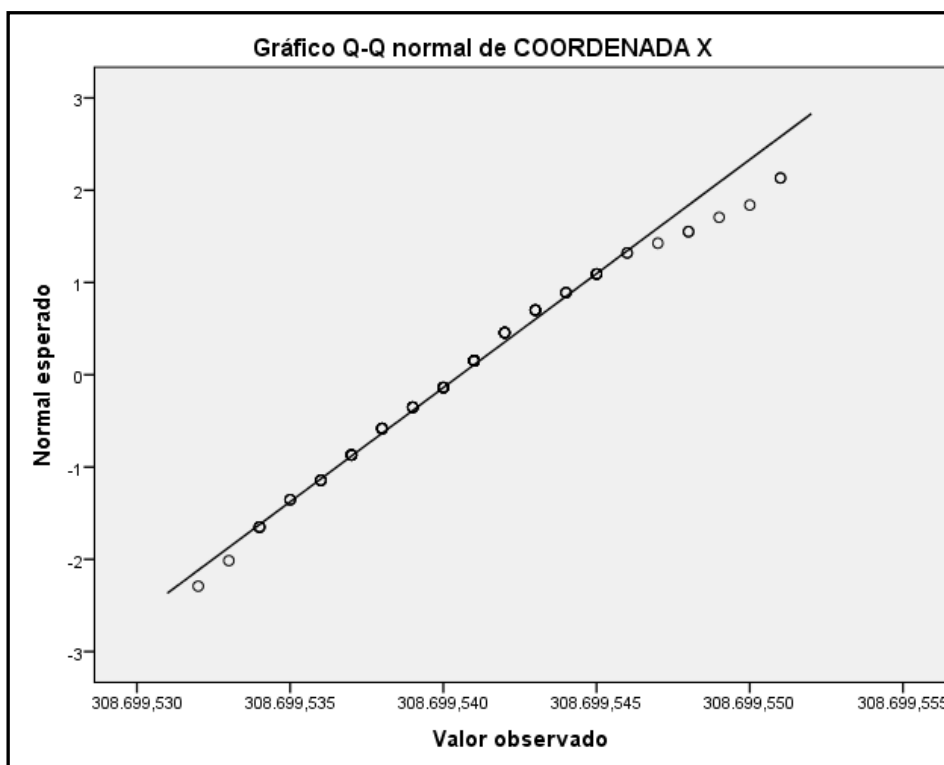
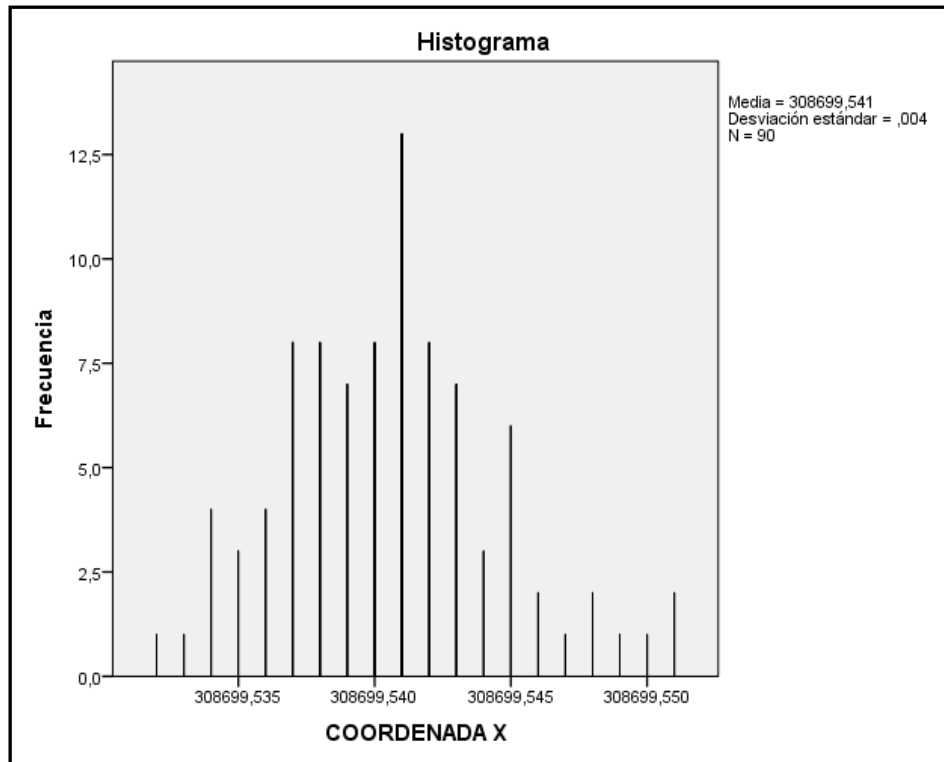
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

VALORES EXTREMOS

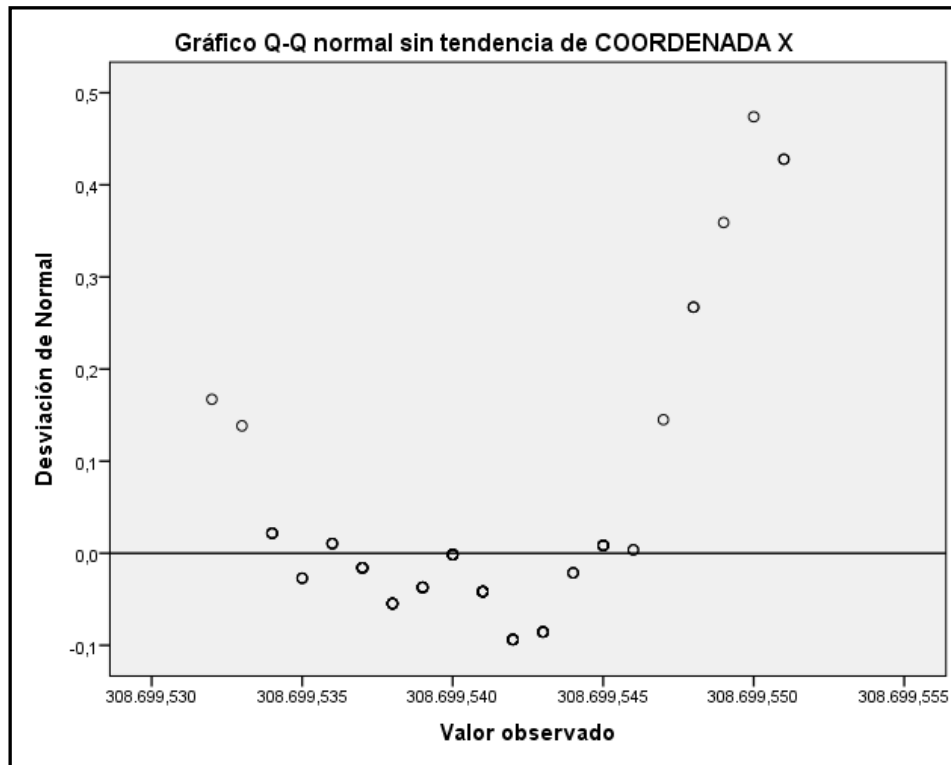
Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	82	308699,551
		2	88	308699,551
		3	89	308699,550
		4	77	308699,549
		5	83	308699,548 ^a
	Menor	1	13	308699,532
		2	17	308699,533
		3	14	308699,534
		4	11	308699,534
		5	9	308699,534 ^b
COORDENADA Y	Mayor	1	5	4,241E+06
		2	2	4,241E+06
		3	1	4,241E+06
		4	3	4,241E+06
		5	4	4,241E+6 ^c
	Menor	1	88	4,241E+06
		2	90	4,241E+06
		3	85	4,241E+06
		4	89	4,241E+06
		5	87	4,241E+6 ^d
COORDENADA Z	Mayor	1	2	565,941
		2	5	565,933
		3	17	565,933
		4	11	565,932
		5	12	565,931
	Menor	1	63	565,879
		2	72	565,883
		3	62	565,890
		4	74	565,891
		5	70	565,892 ^e

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

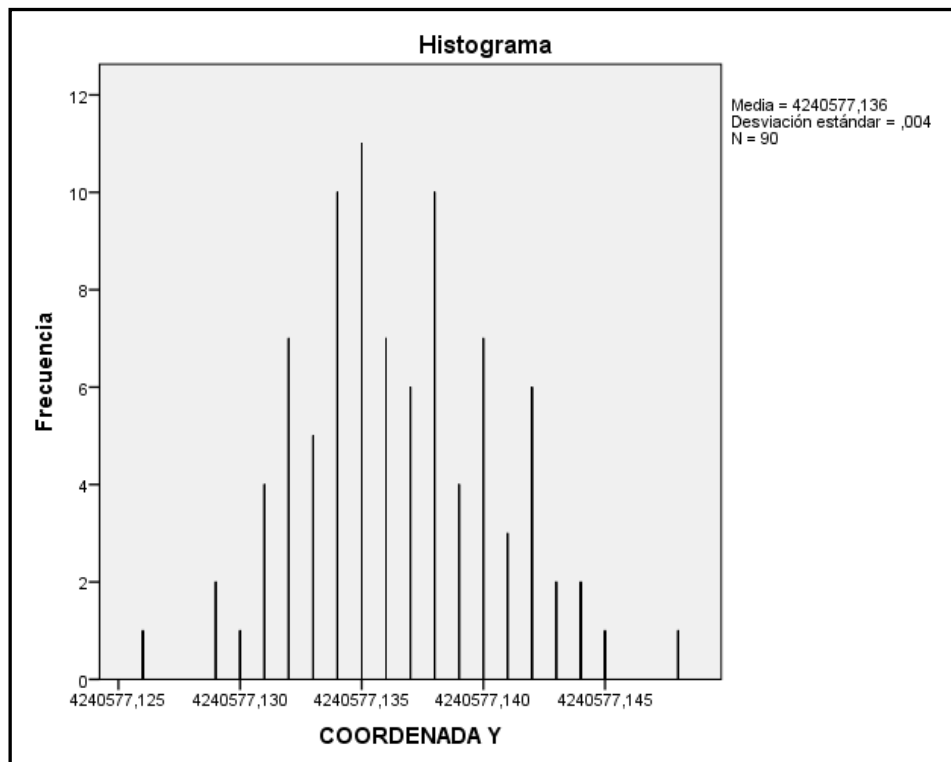
COORDENADA X



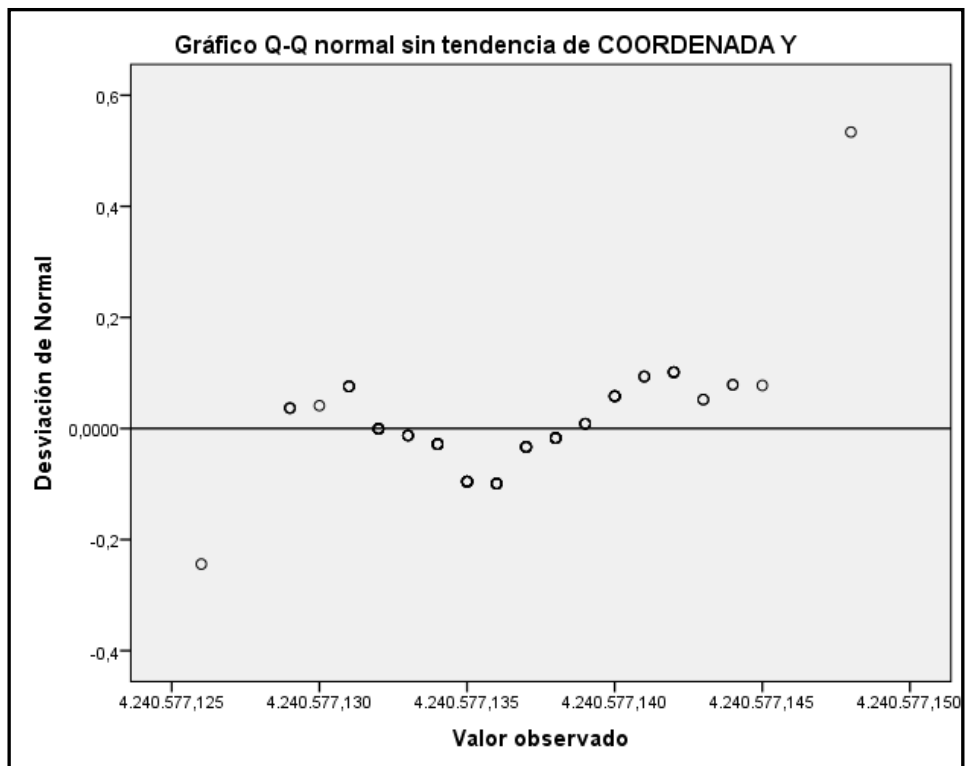
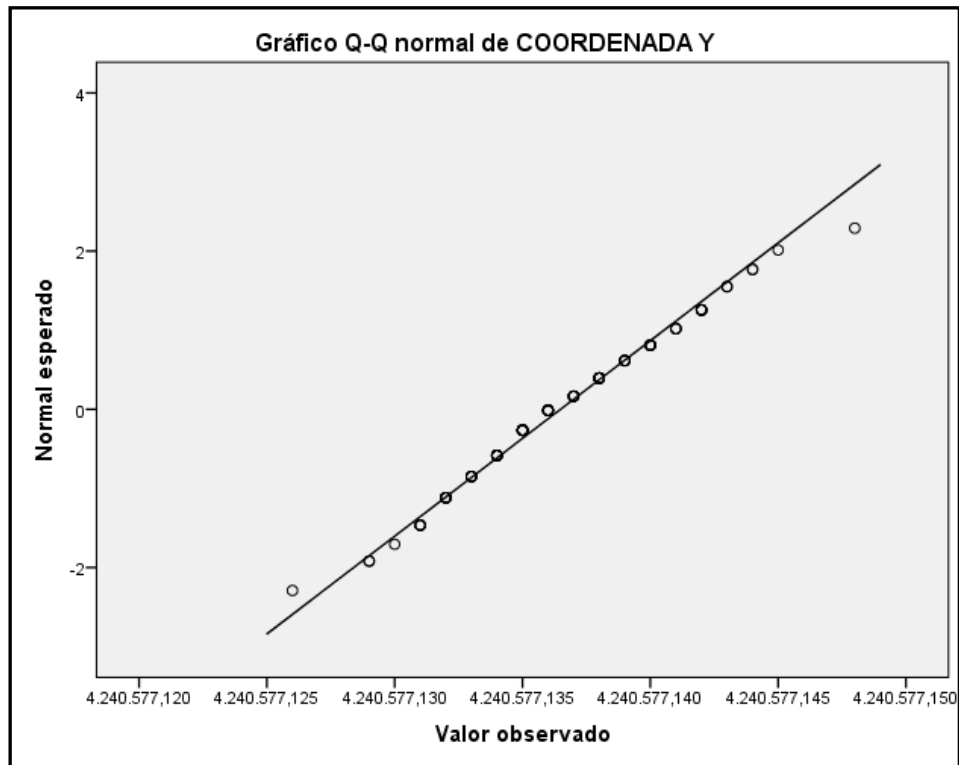
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



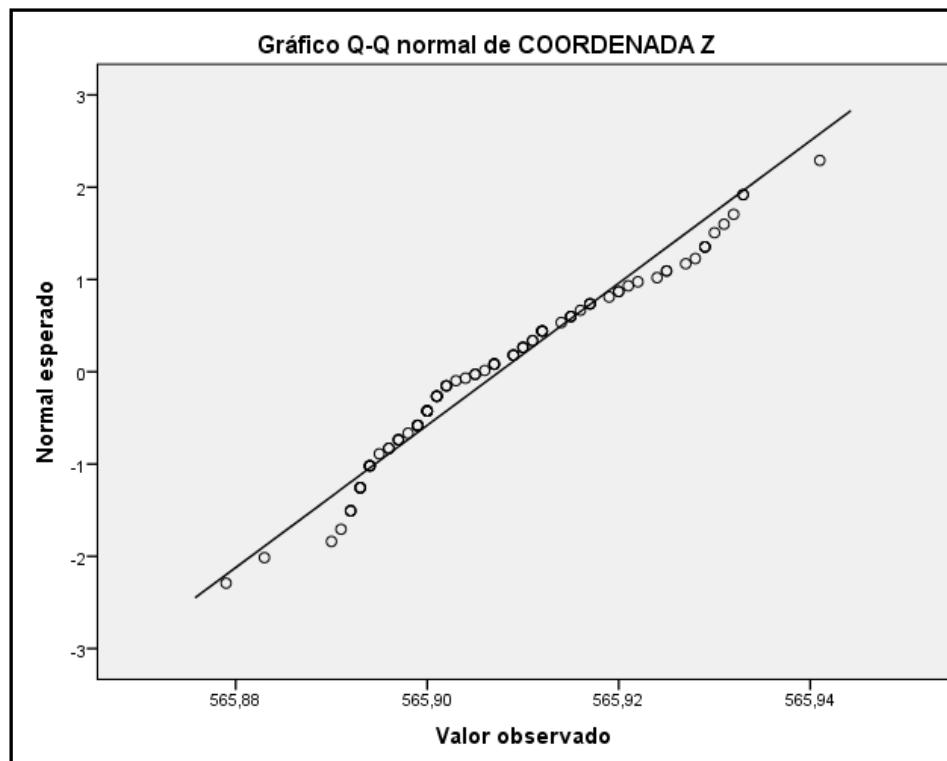
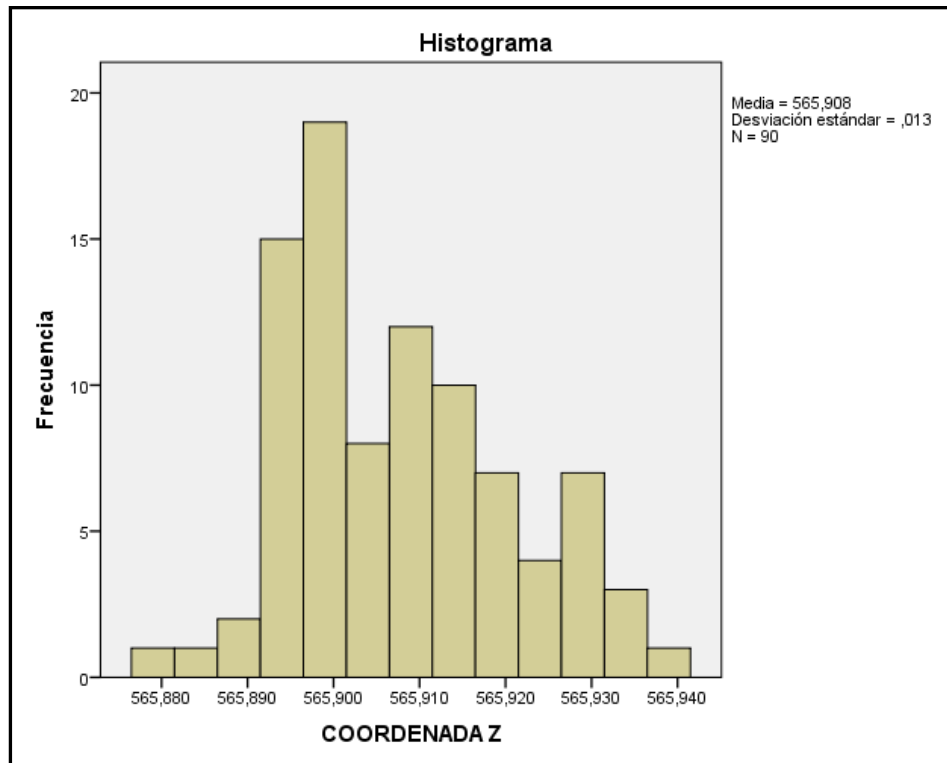
COORDENADA Y



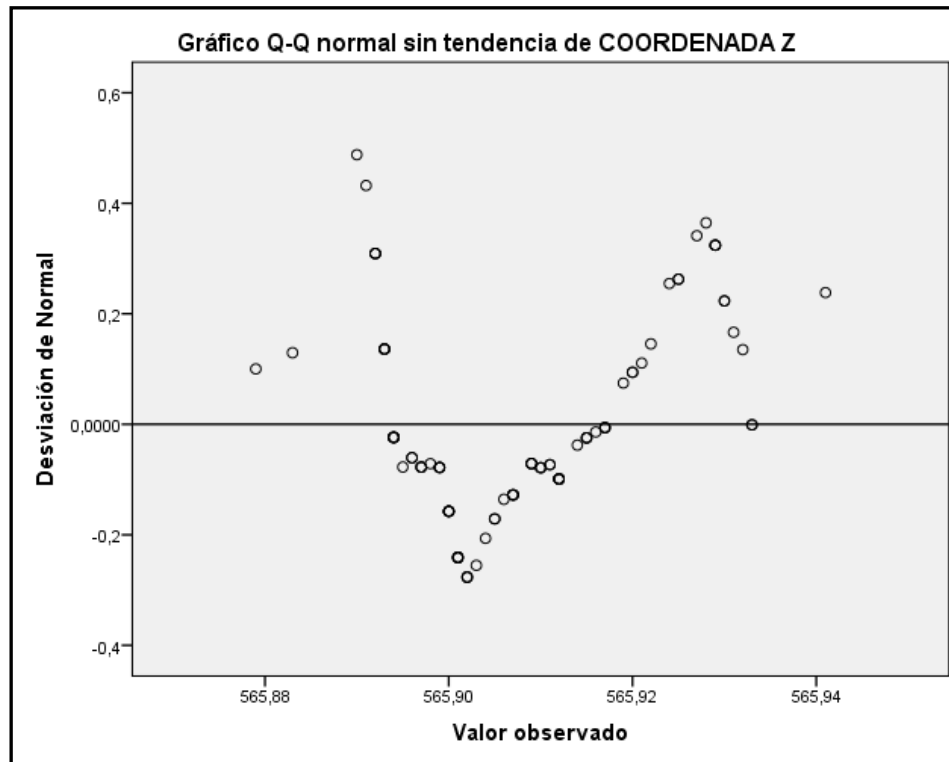
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.1.4.-NIVEL 4

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CAZALLA\
ANÁLISIS DE DATOS\NIVEL 4 sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 4	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

DESCRIPTIVOS

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301621,96993	,000362
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	301621,96921 301621,97065
	Media recortada al 5%	301621,96983	
	Mediana	301621,97000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003434	
	Mínimo	301621,963	
	Máximo	301621,979	
	Rango	,016	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	,286	,254
	Curtosis	-,298	,503
COORDENADA Y	Media	4233046,35823	,000566
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4233046,35711 4233046,35936
	Media recortada al 5%	4233046,35830	
	Mediana	4233046,35800	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005372	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,031	
	Rango intercuartil	,006	
	Asimetría	-,286	,254
	Curtosis	,902	,503
COORDENADA Z	Media	547,17454	,000949
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	547,17266 547,17643
	Media recortada al 5%	547,17459	
	Mediana	547,17600	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,009006	
	Mínimo	547,156	
	Máximo	547,194	
	Rango	,038	
	Rango intercuartil	,011	
	Asimetría	-,180	,254
	Curtosis	-,547	,503

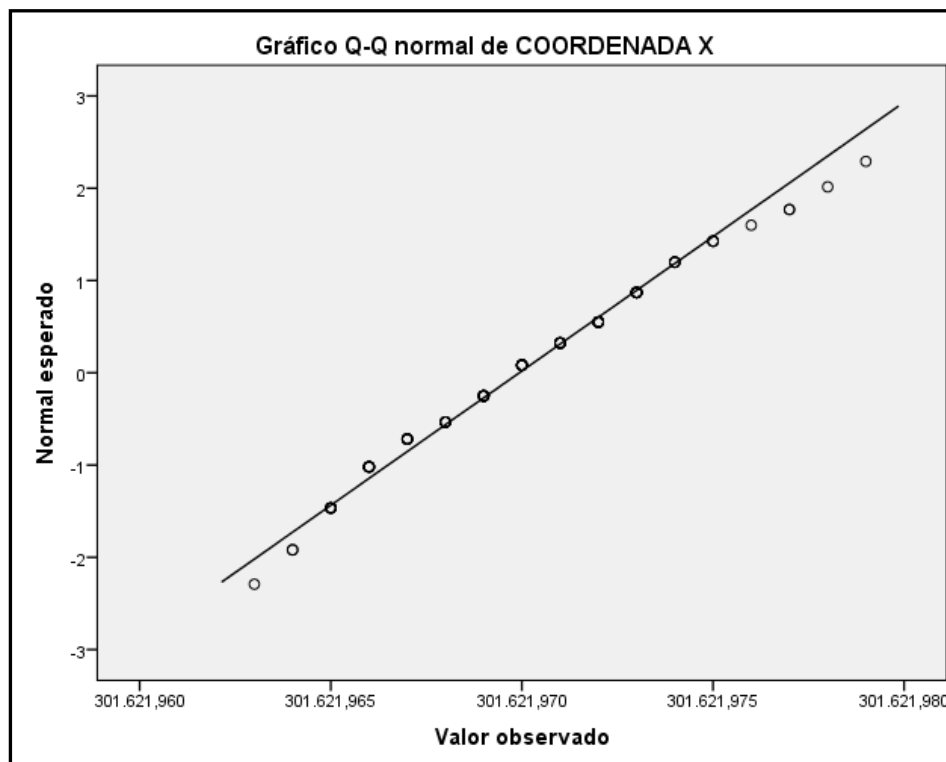
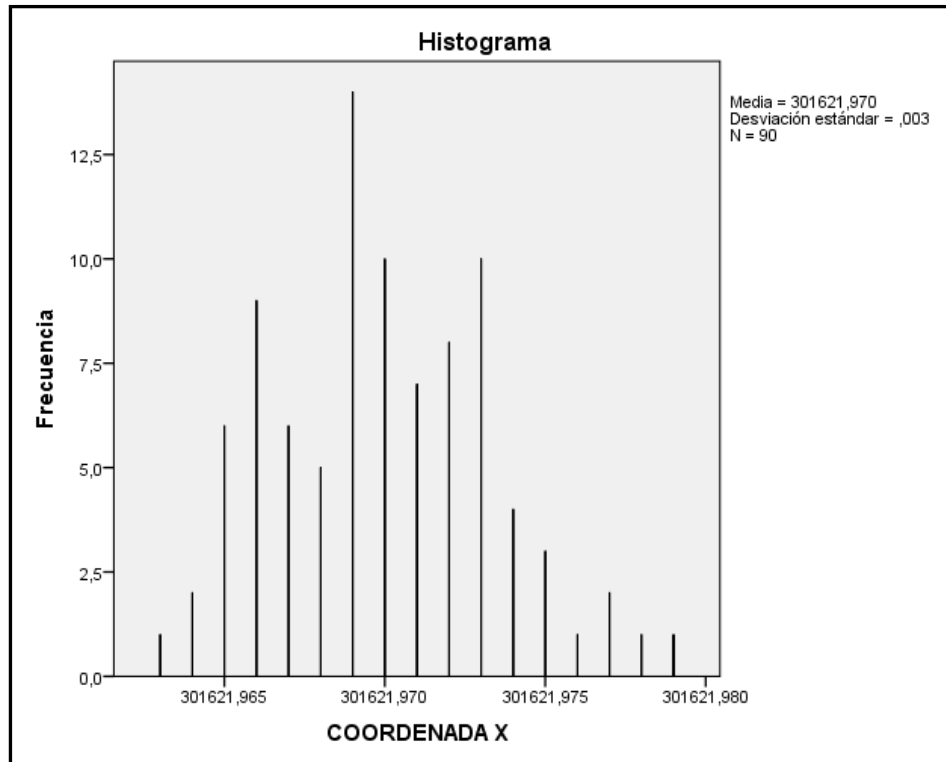
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

VALORES EXTREMOS

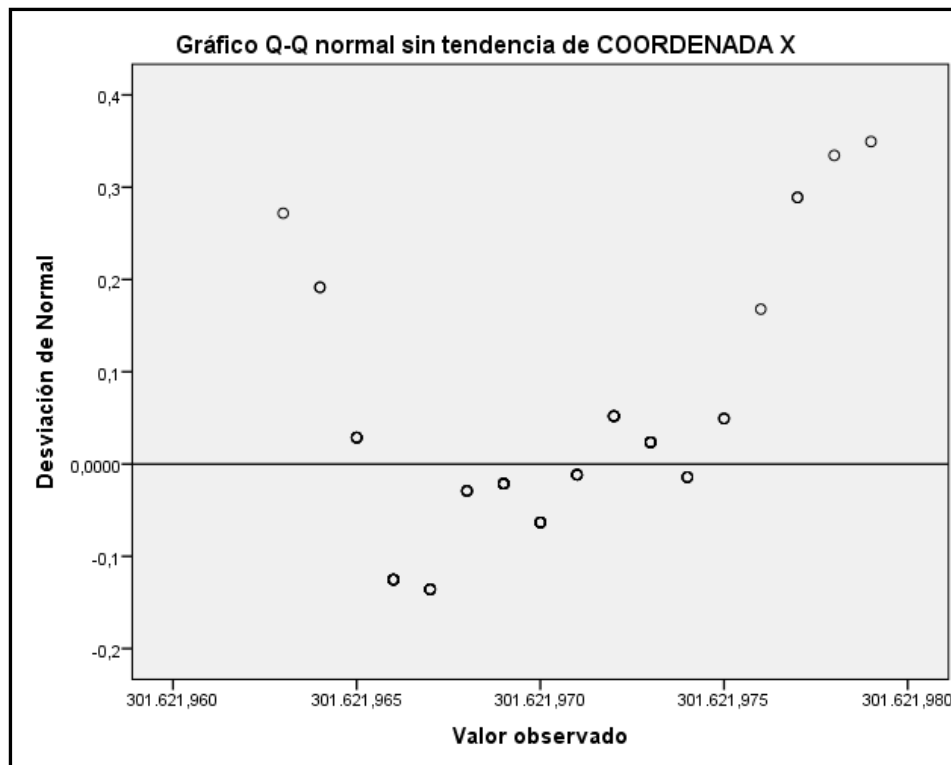
Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	39	301621,979
		2	43	301621,978
		3	40	301621,977
		4	46	301621,977
		5	45	301621,976
	Menor	1	85	301621,963
		2	87	301621,964
		3	70	301621,964
		4	79	301621,965
		5	78	301621,965 ^a
COORDENADA Y	Mayor	1	38	4,233E+06
		2	35	4,233E+06
		3	36	4,233E+06
		4	37	4,233E+06
		5	40	4,233E+06
	Menor	1	81	4,233E+06
		2	86	4,233E+06
		3	83	4,233E+06
		4	87	4,233E+06
		5	90	4,233E+6 ^b
COORDENADA Z	Mayor	1	3	547,194
		2	9	547,192
		3	56	547,191
		4	4	547,189
		5	30	547,189
	Menor	1	82	547,156
		2	80	547,156
		3	45	547,157
		4	71	547,158
		5	46	547,159 ^c

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

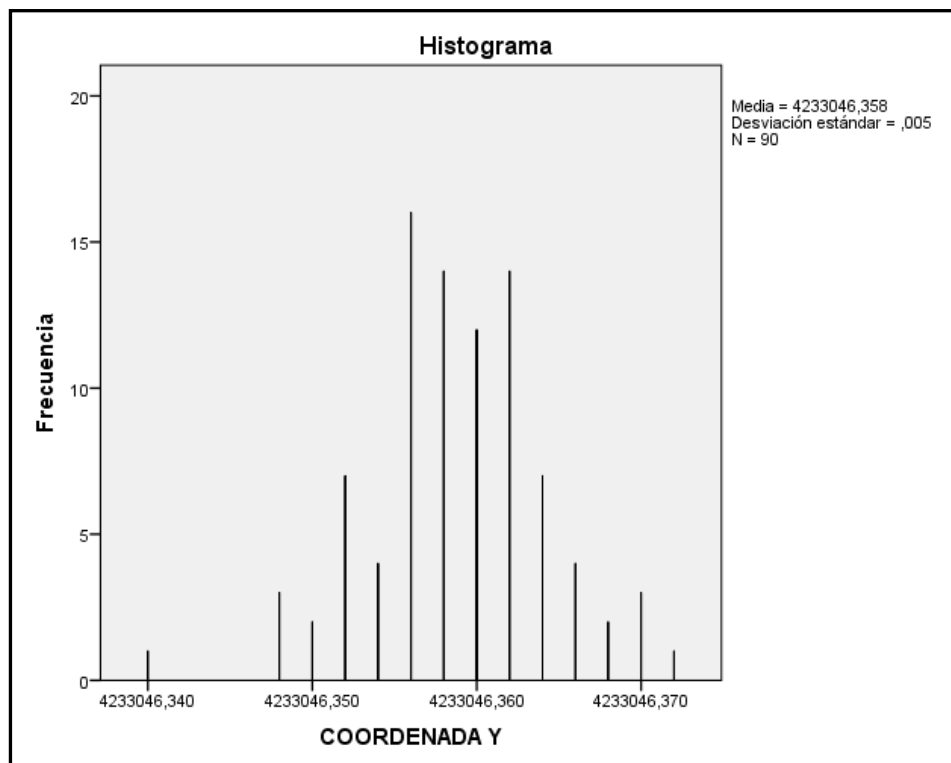
COORDENADA X



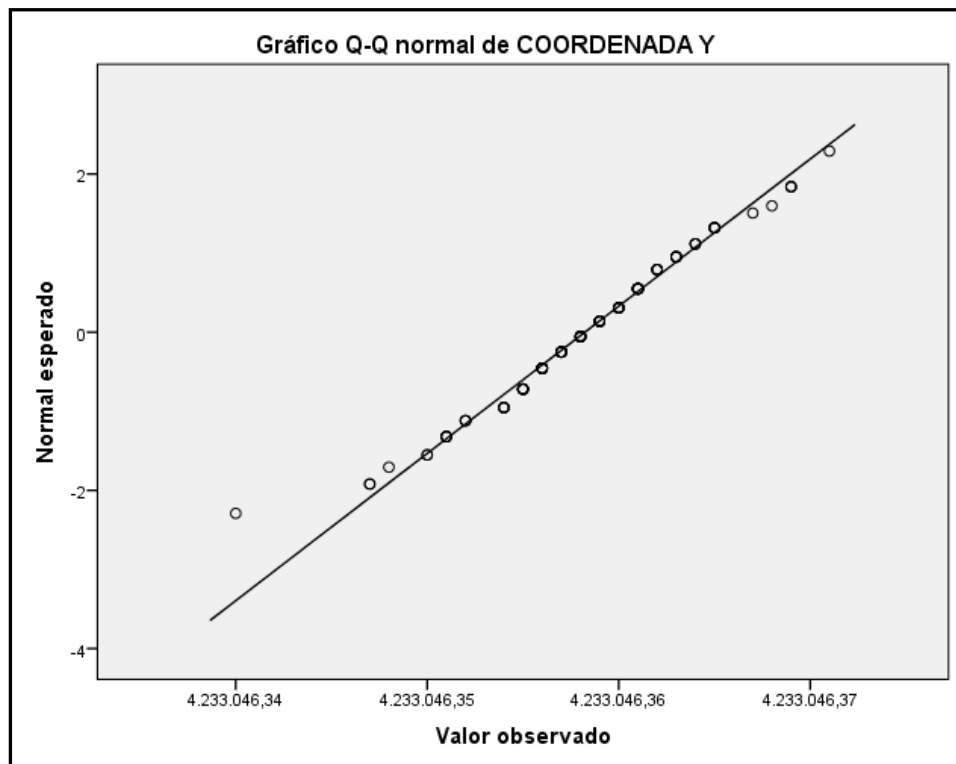
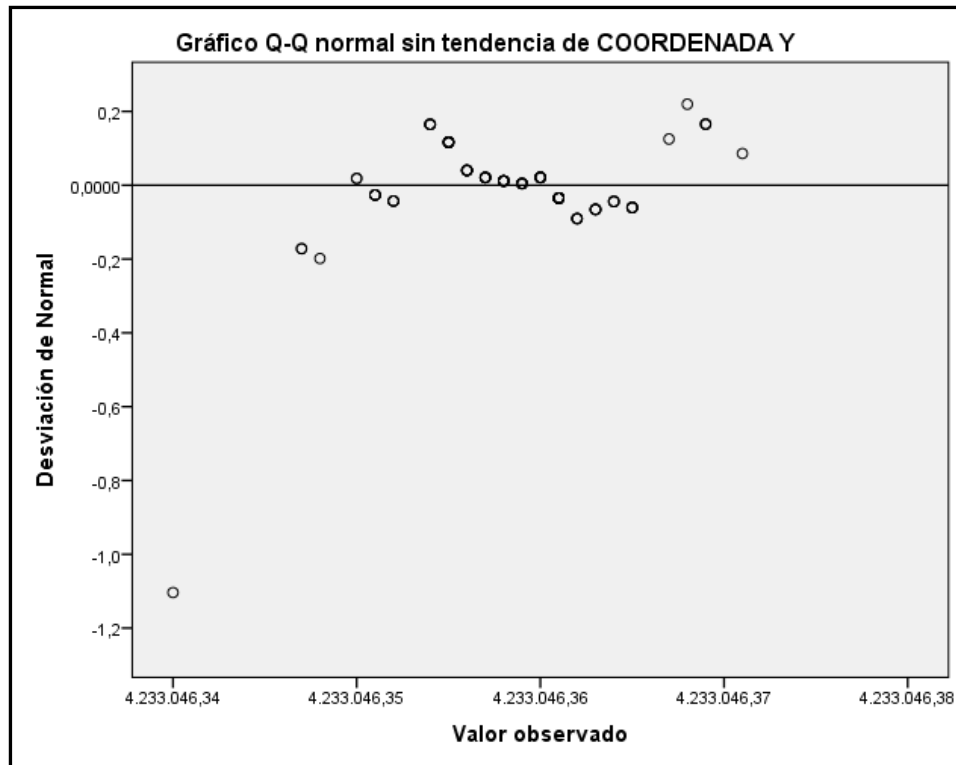
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



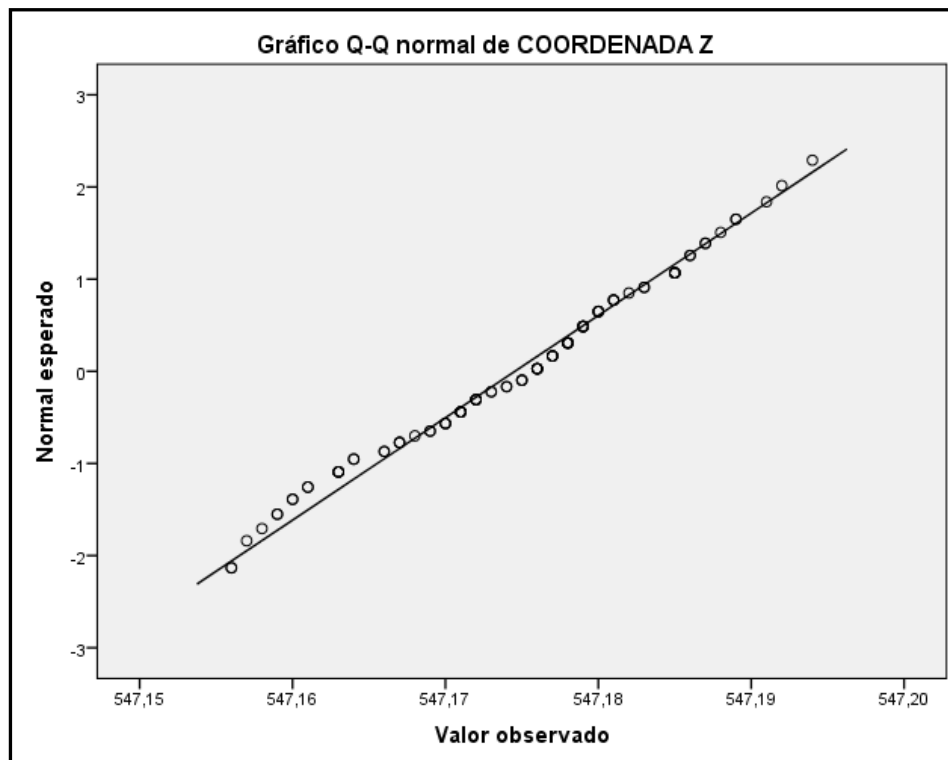
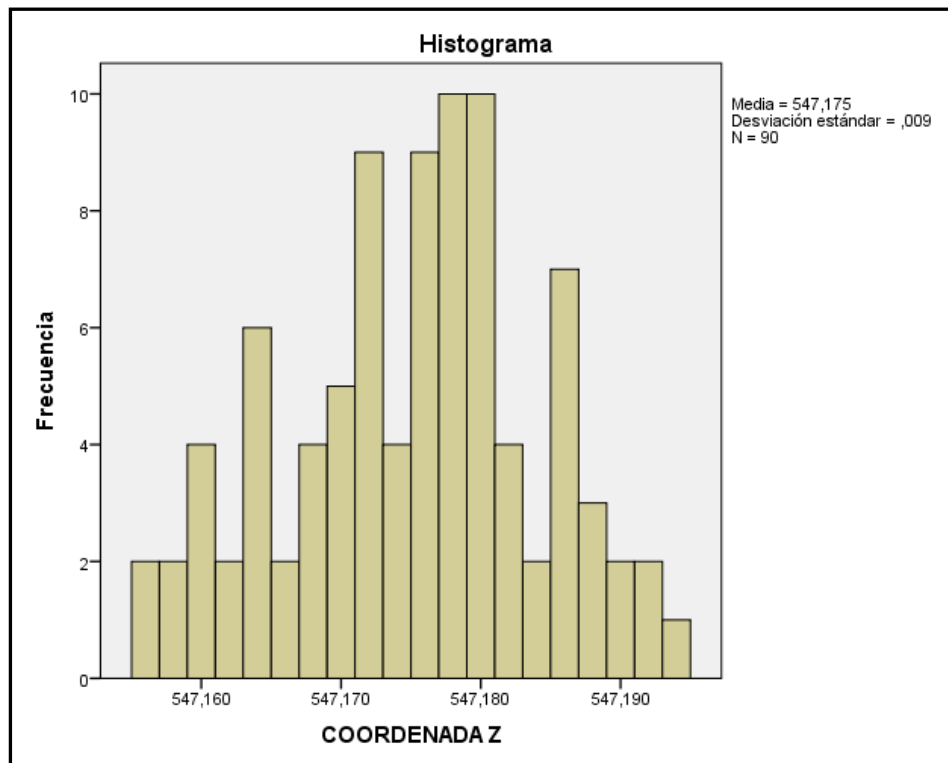
COORDENADA Y



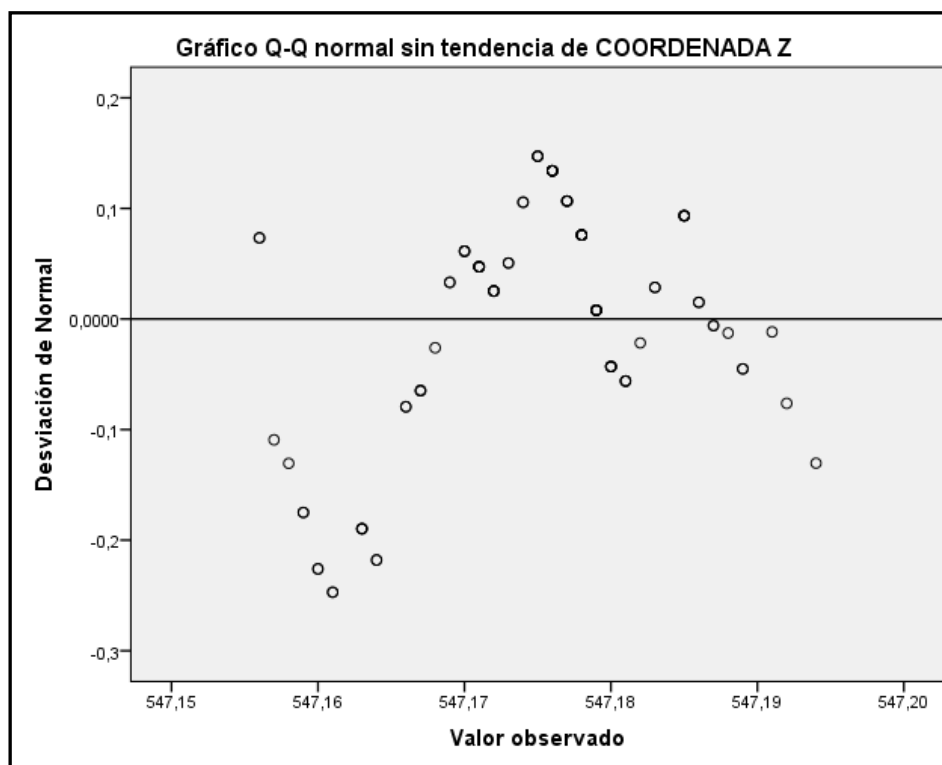
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.1.5.- NIVEL 5

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CAZALLA\ANALISIS
DE DATOS\NIVEL5.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 5	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301596,54120	,000601
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	301596,54001
		Límite superior	301596,54239
	Media recortada al 5%	301596,54142	
	Mediana	301596,54200	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005703	
	Mínimo	301596,526	
	Máximo	301596,551	
	Rango	,025	
	Rango intercuartil	,008	
	Asimetría	-,624	,254
	Curtosis	-,216	,503
COORDENADA Y	Media	4233062,96994	,000603
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4233062,96875
		Límite superior	4233062,97114
	Media recortada al 5%	4233062,96980	
	Mediana	4233062,97000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005719	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,032	
	Rango intercuartil	,007	
	Asimetría	,368	,254
	Curtosis	,393	,503
COORDENADA Z	Media	547,13033	,001290
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	547,12777
		Límite superior	547,13290
	Media recortada al 5%	547,13045	
	Mediana	547,13000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,012234	
	Mínimo	547,103	
	Máximo	547,155	
	Rango	,052	
	Rango intercuartil	,019	
	Asimetría	-,073	,254
	Curtosis	-,758	,503

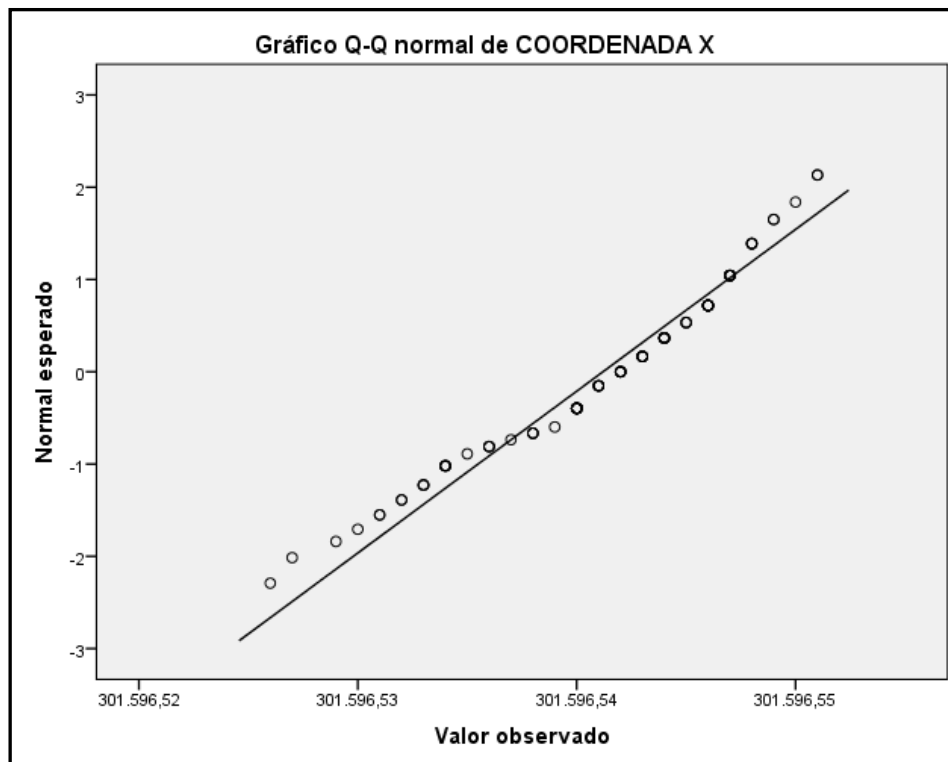
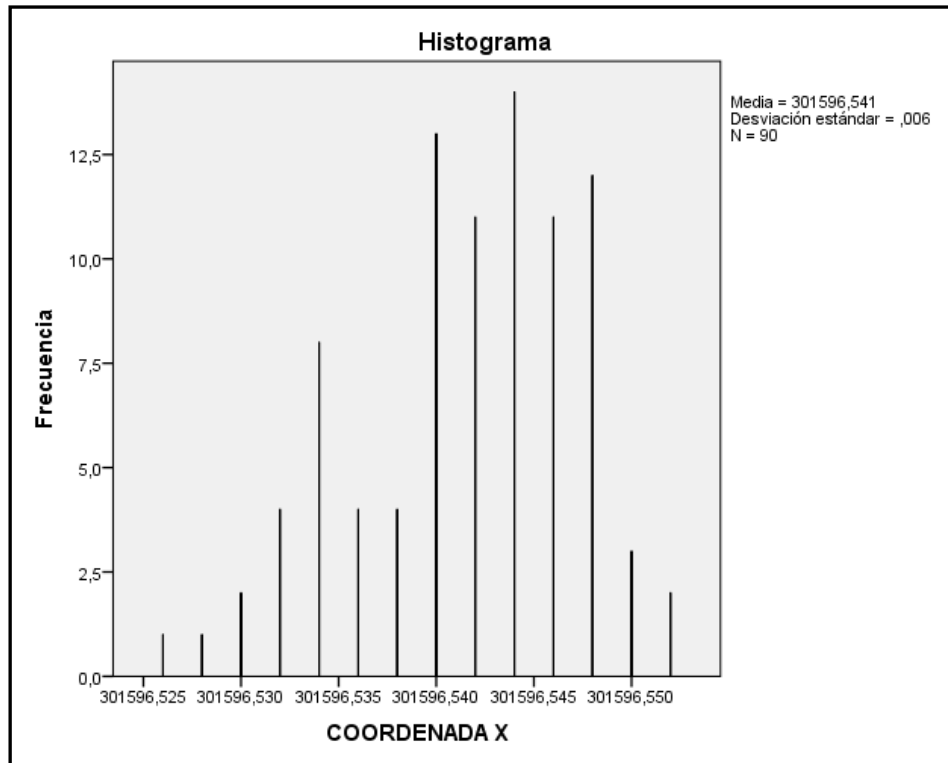
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

VALORES EXTREMOS

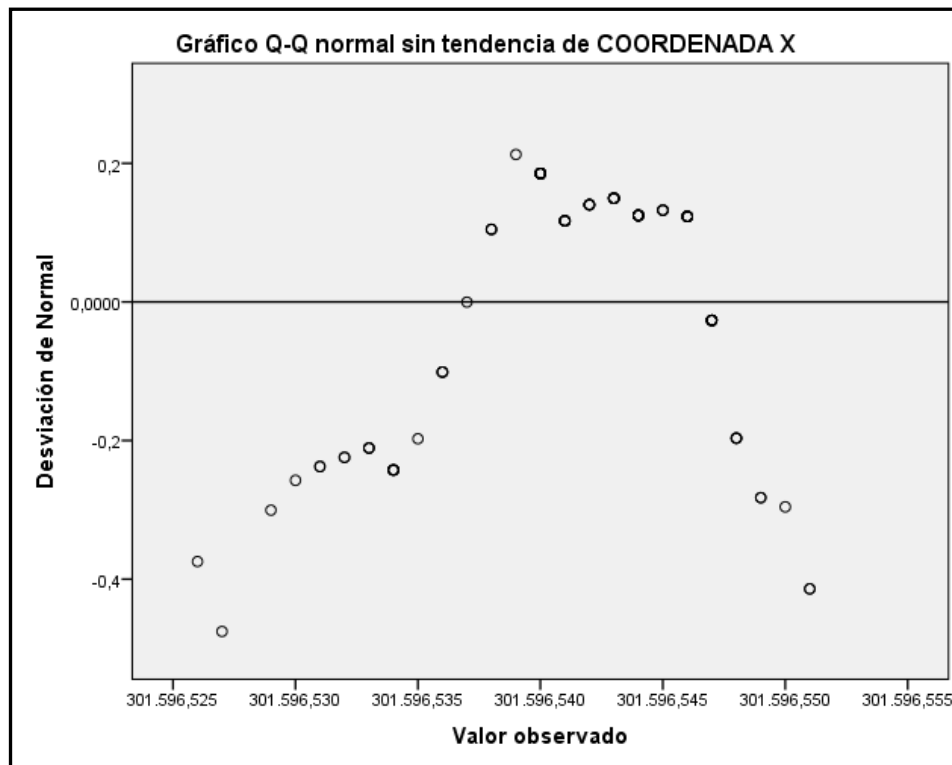
Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	85	301596,551
		2	88	301596,551
		3	71	301596,550
		4	49	301596,549
		5	77	301596,549
	Menor	1	8	301596,526
		2	5	301596,527
		3	7	301596,529
		4	15	301596,530
		5	6	301596,531 ^a
COORDENADA Y	Mayor	1	90	4,233E+06
		2	4	4,233E+06
		3	25	4,233E+06
		4	20	4,233E+06
		5	8	4,233E+06
	Menor	1	72	4,233E+06
		2	43	4,233E+06
		3	36	4,233E+06
		4	80	4,233E+06
		5	76	4,233E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	7	547,155
		2	9	547,152
		3	8	547,151
		4	16	547,151
		5	12	547,150
	Menor	1	83	547,103
		2	81	547,106
		3	84	547,108
		4	78	547,108
		5	85	547,109

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

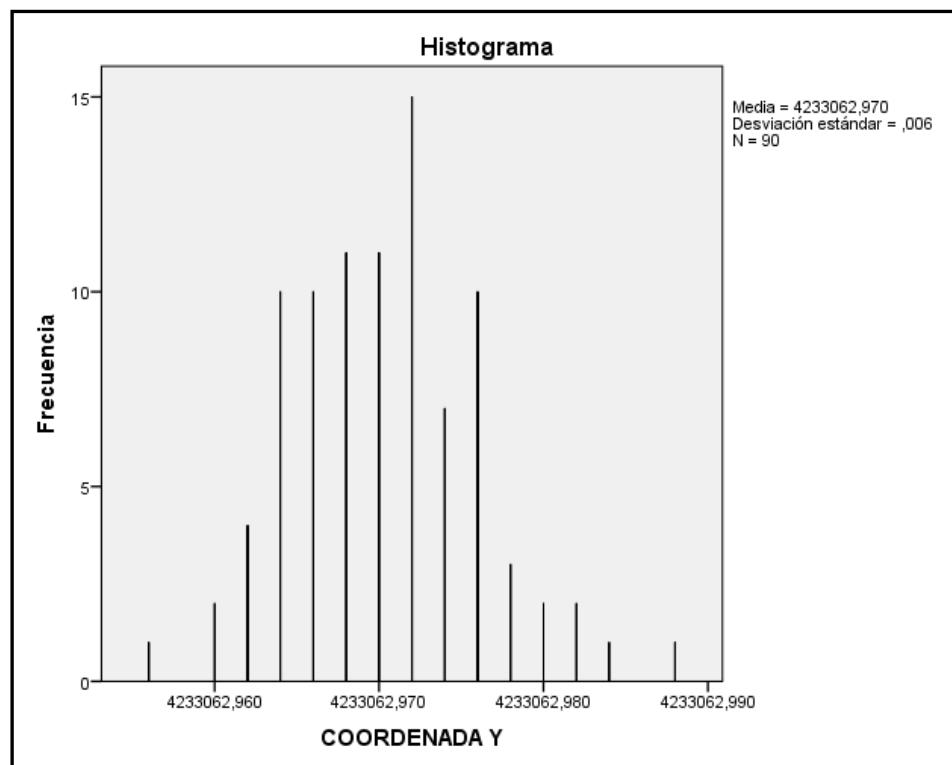
COORDENADA X



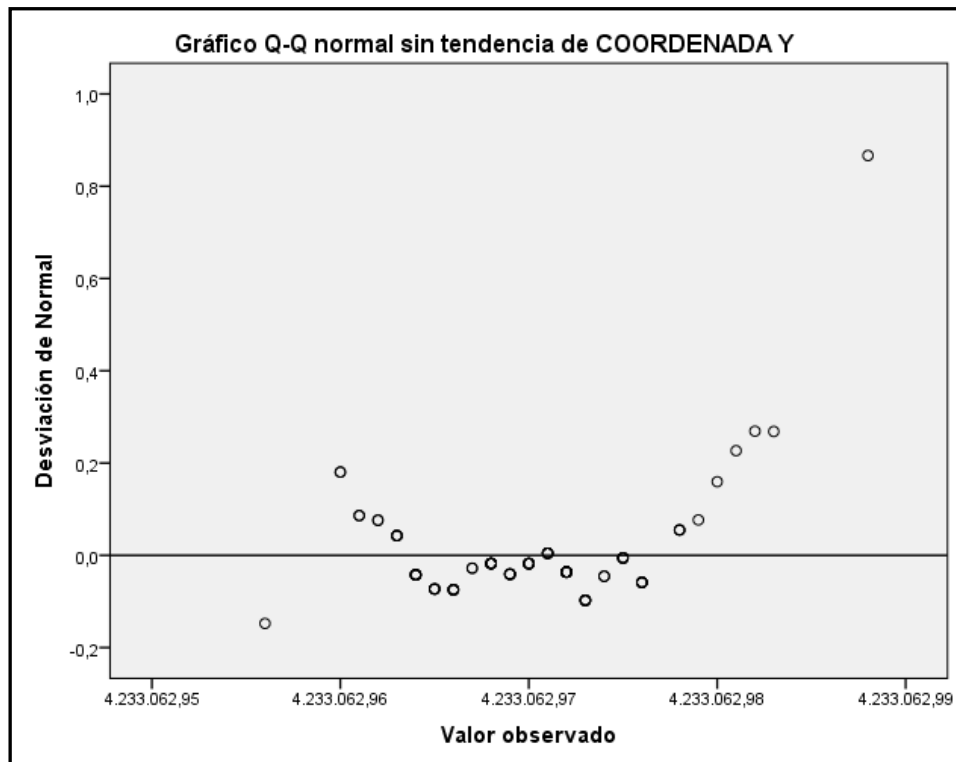
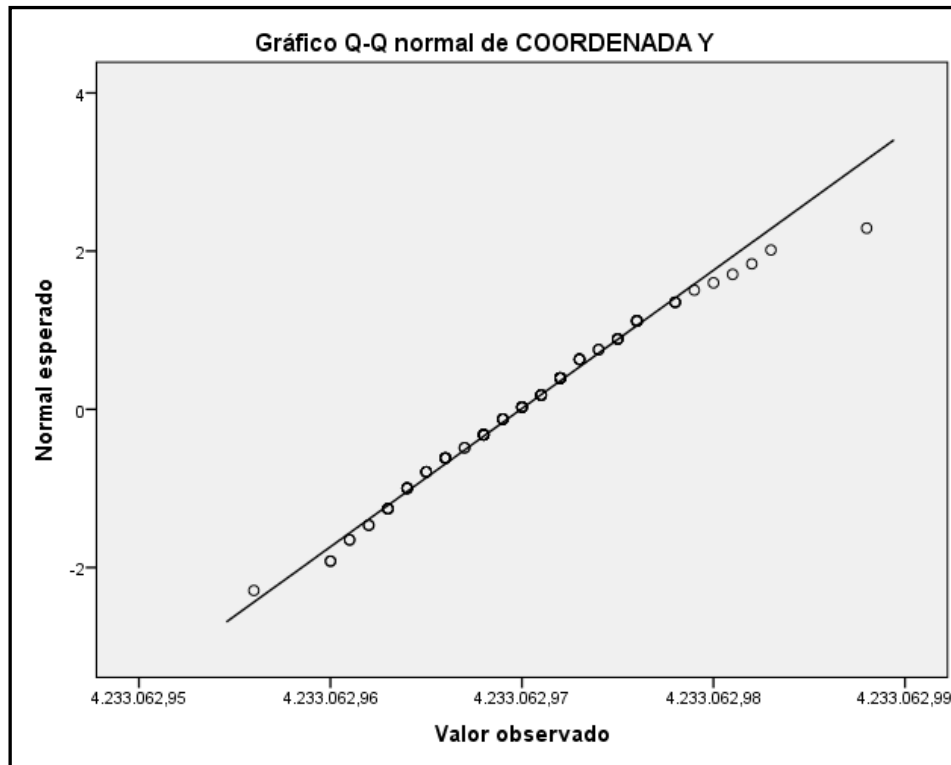
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



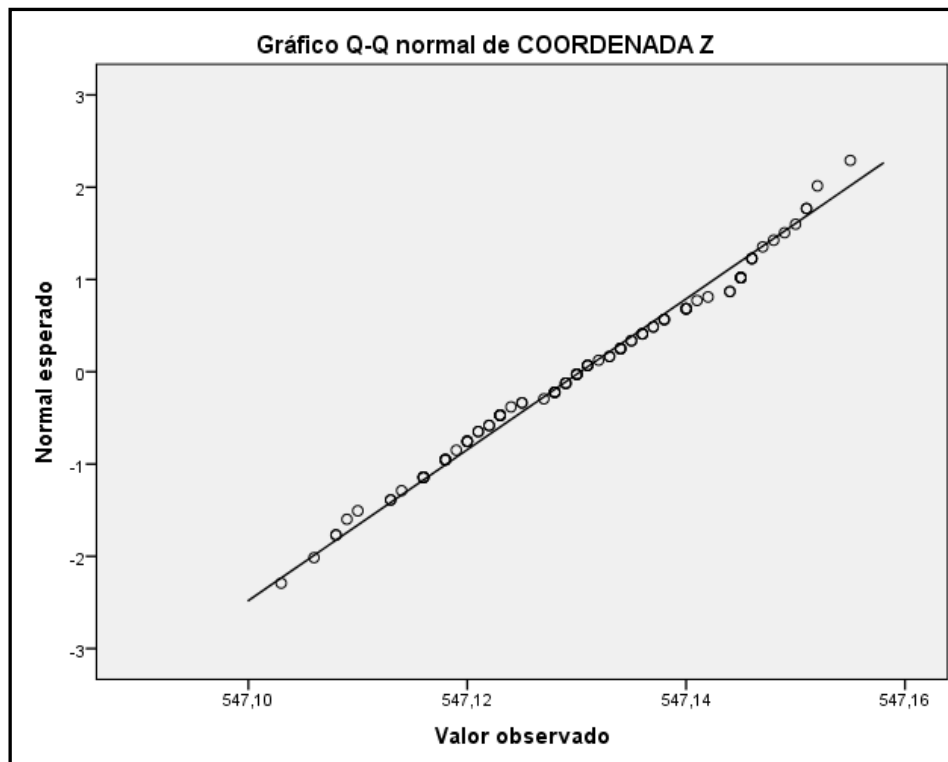
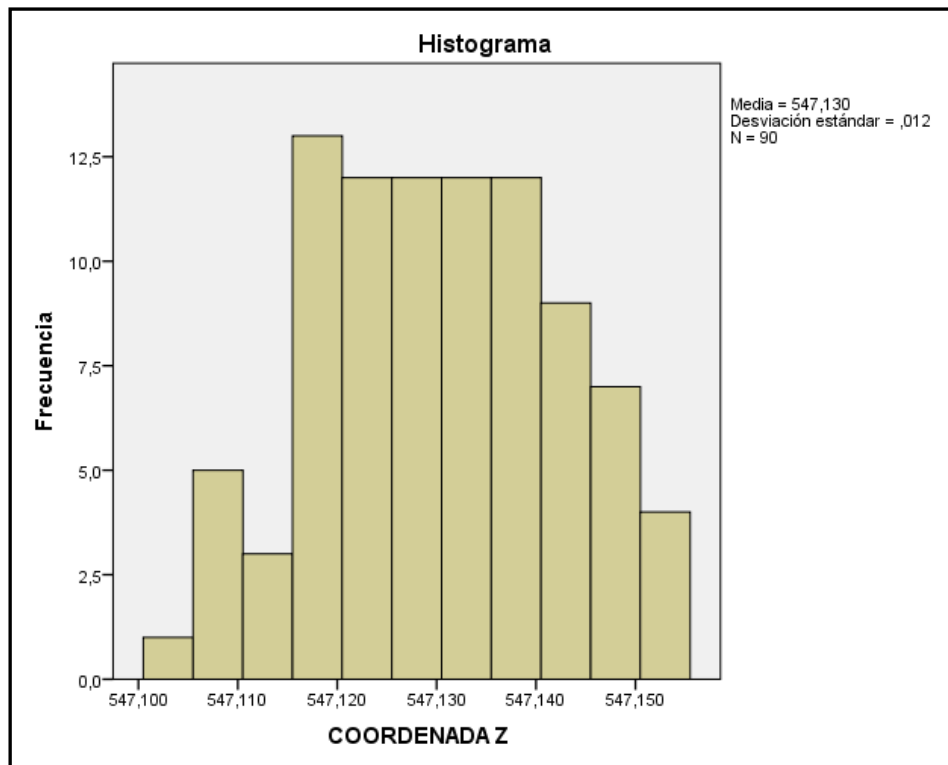
COORDENADA Y



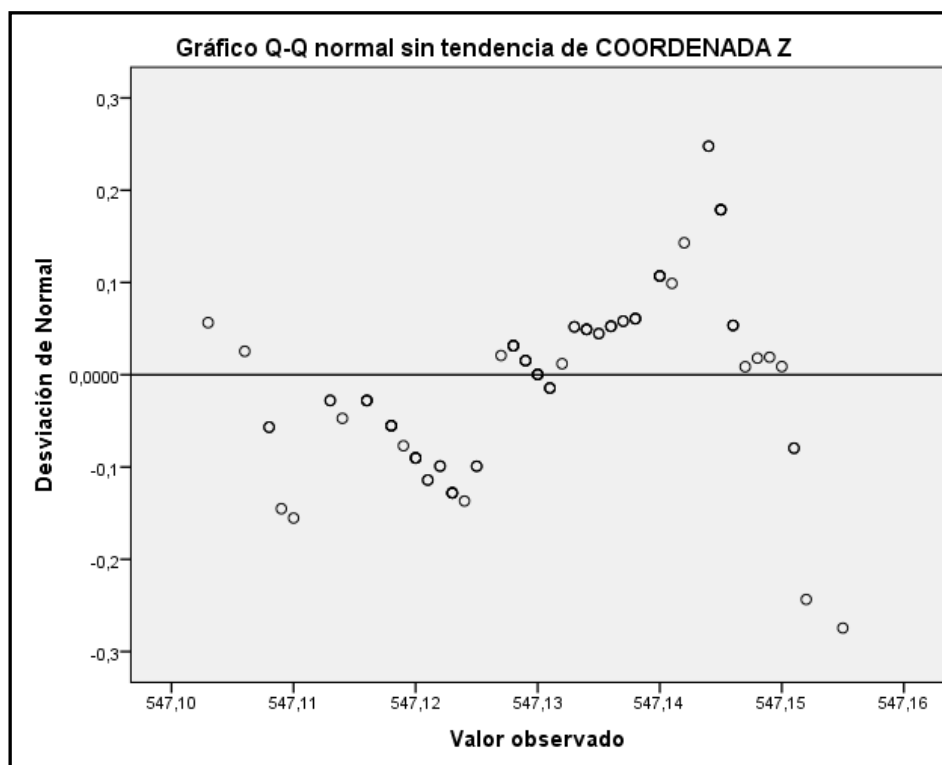
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.1.6.- NIVEL 6

[Conjunto_de_datos3]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CAZALLA\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL6.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 6	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301574,79210	,000383
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	301574,79134 301574,79286
	Media recortada al 5%	301574,79221	
	Mediana	301574,79300	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003629	
	Mínimo	301574,782	
	Máximo	301574,799	
	Rango	,017	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	-,545	,254
	Curtosis	-,136	,503
COORDENADA Y	Media	4233077,31113	,000519
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4233077,31010 4233077,31216
	Media recortada al 5%	4233077,31119	
	Mediana	4233077,31100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004920	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,031	
	Rango intercuartil	,006	
	Asimetría	-,178	,254
	Curtosis	,960	,503
COORDENADA Z	Media	547,33793	,001753
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	547,33445 547,34142
	Media recortada al 5%	547,33833	
	Mediana	547,33950	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,016633	
	Mínimo	547,297	
	Máximo	547,370	
	Rango	,073	
	Rango intercuartil	,026	
	Asimetría	-,279	,254
	Curtosis	-,680	,503

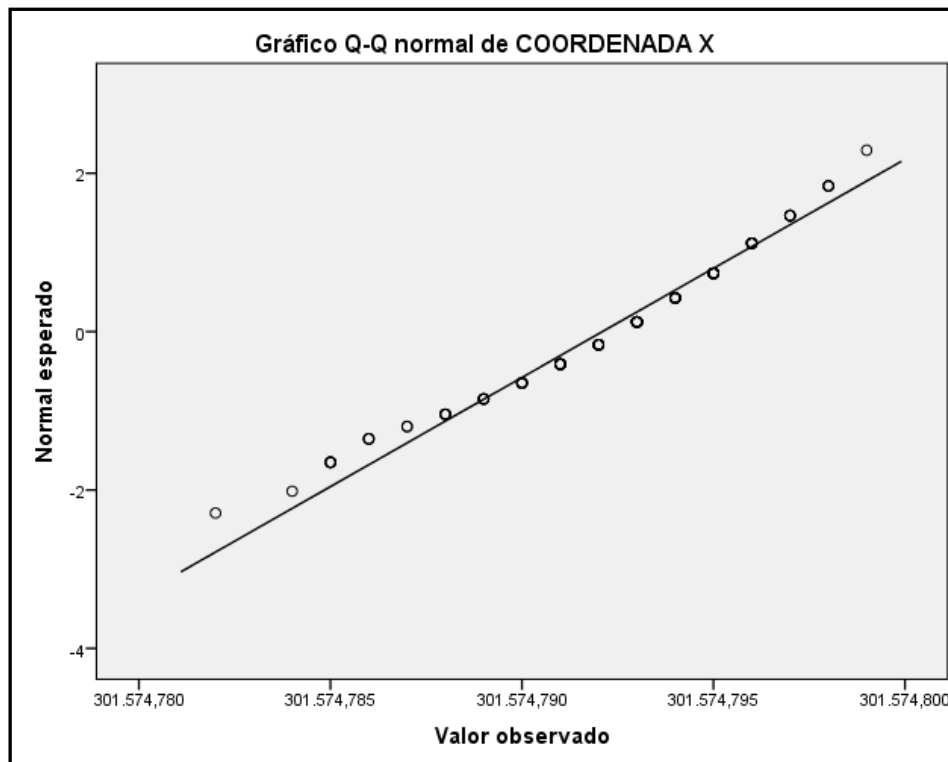
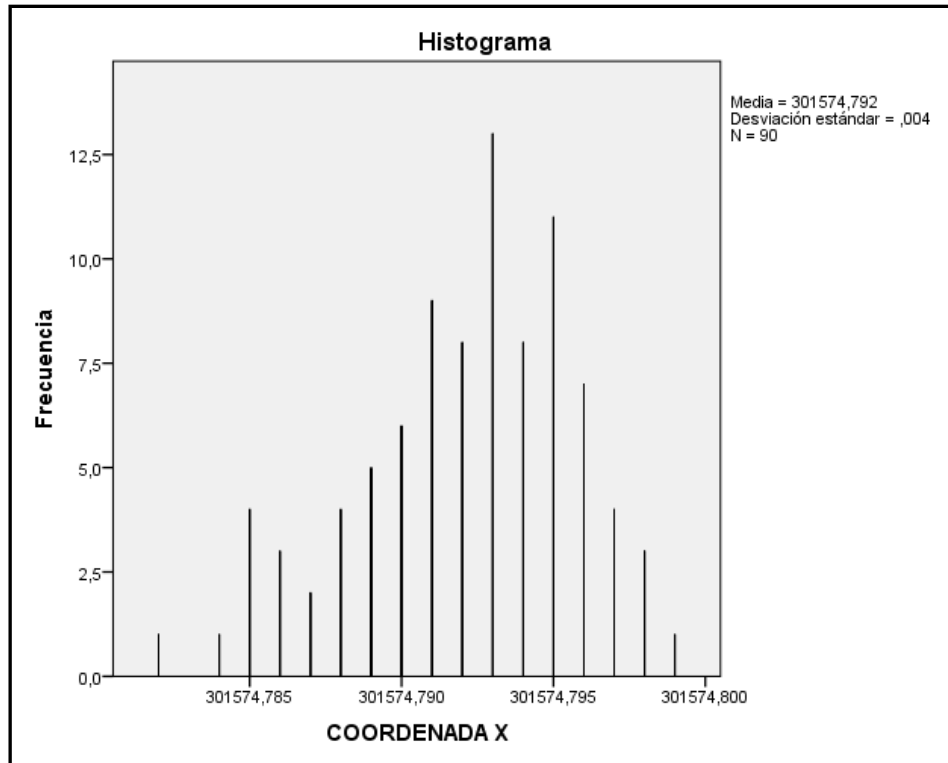
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

VALORES EXTREMOS

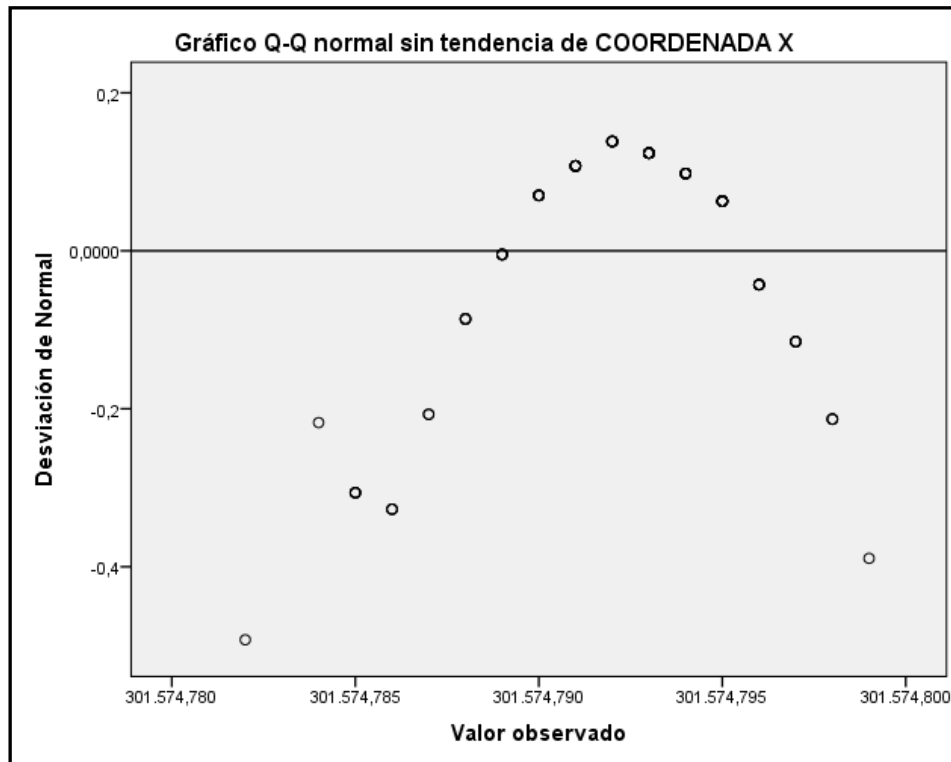
Valores extremos			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	35	301574,799
		2	38	301574,798
		3	39	301574,798
		4	86	301574,798
		5	26	301574,797 ^a
	Menor	1	1	301574,782
		2	2	301574,784
		3	90	301574,785
		4	9	301574,785
		5	7	301574,785 ^b
COORDENADA Y	Mayor	1	50	4,233E+06
		2	47	4,233E+06
		3	53	4,233E+06
		4	48	4,233E+06
		5	55	4,233E+06
	Menor	1	30	4,233E+06
		2	26	4,233E+06
		3	31	4,233E+06
		4	29	4,233E+06
		5	35	4,233E+6 ^c
COORDENADA Z	Mayor	1	2	547,370
		2	30	547,366
		3	1	547,364
		4	20	547,363
		5	16	547,362
	Menor	1	88	547,297
		2	87	547,302
		3	80	547,303
		4	79	547,308
		5	89	547,310

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

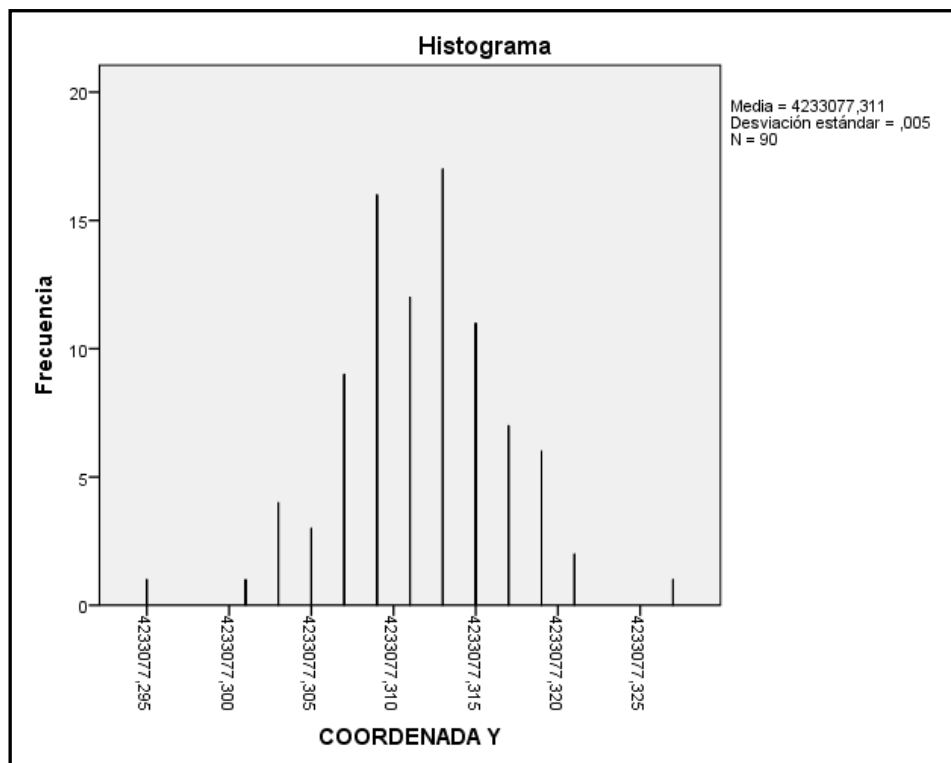
COORDENADA X



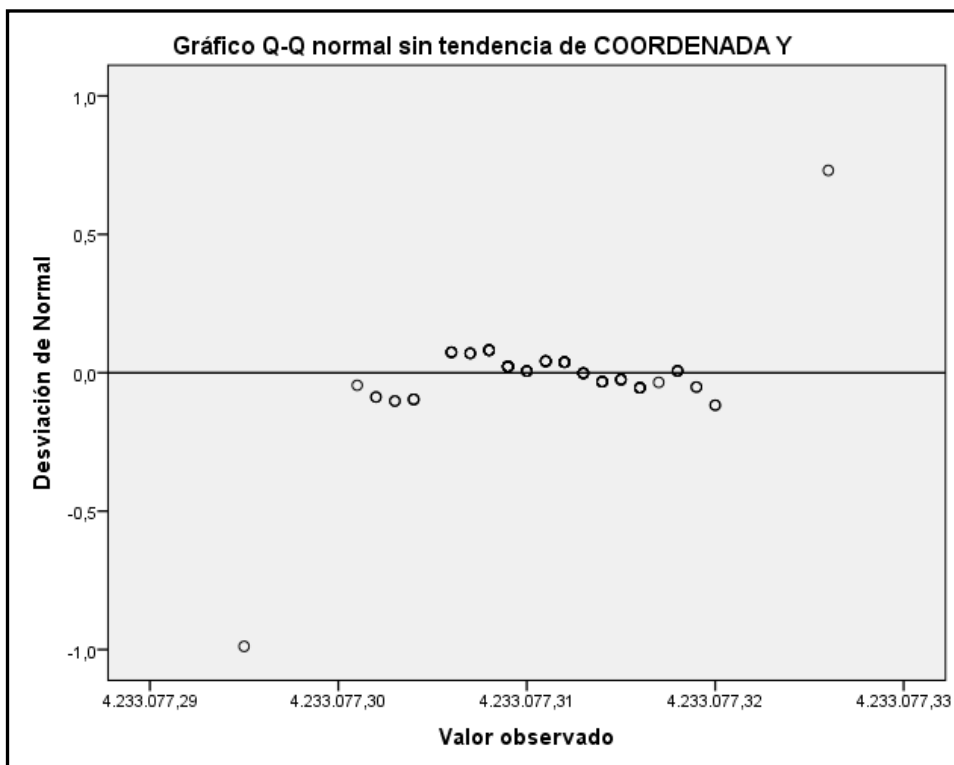
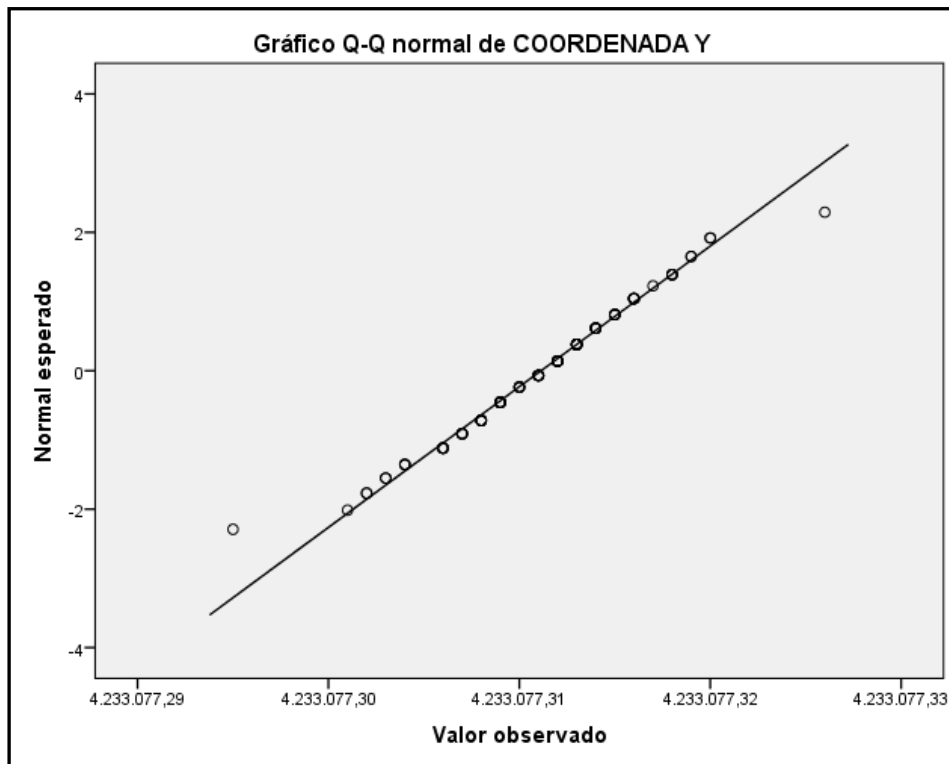
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



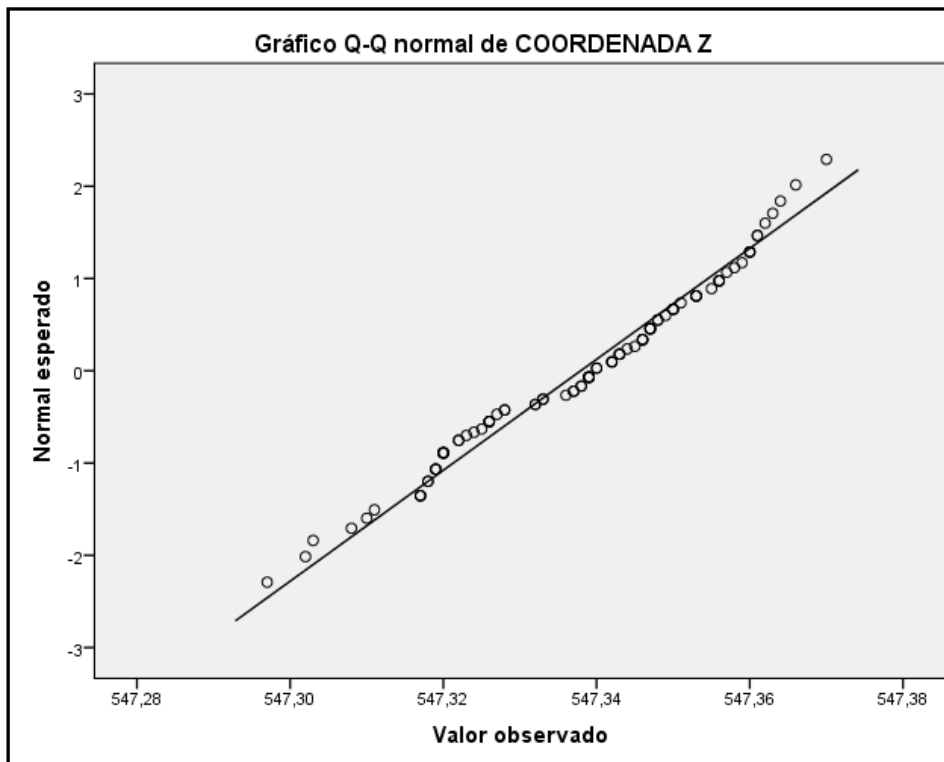
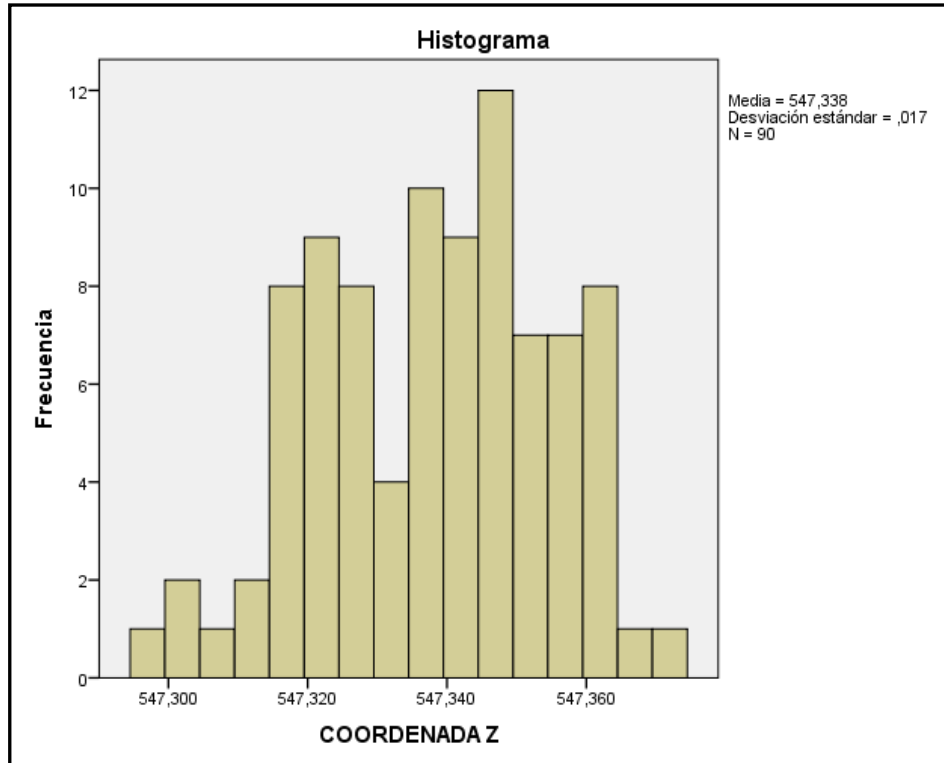
COORDENADA Y



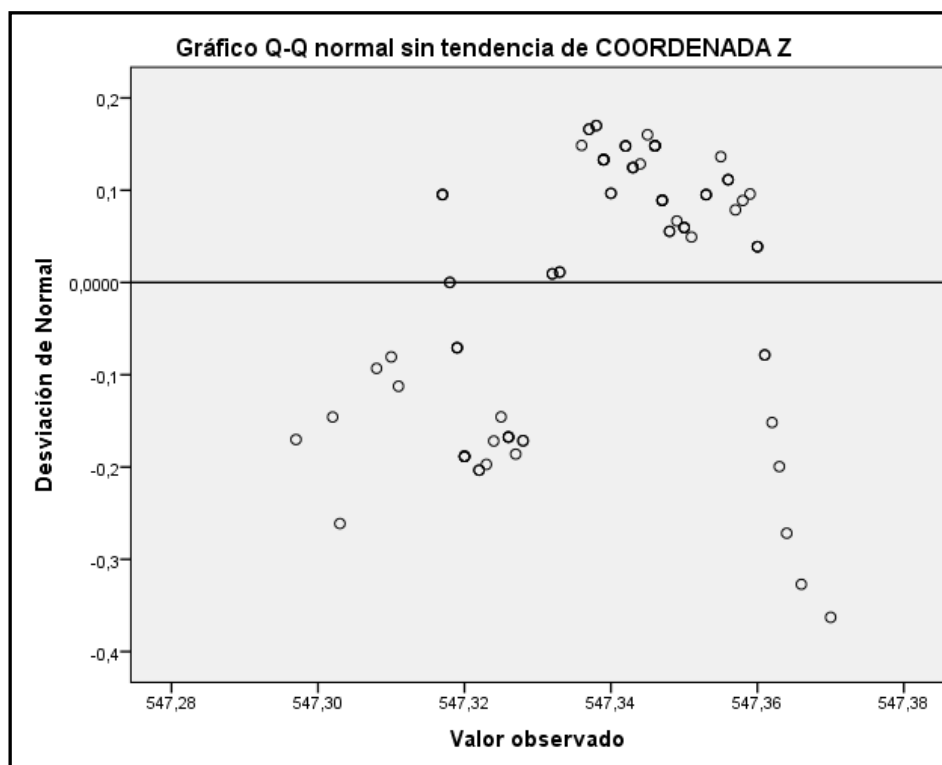
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.2.- TOMA DESDE LA ESTACIÓN DE REFERENCIA POZOBLANCO

1.2.1.- NIVEL 1

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\POZOBLANCO\ANALISIS DE DATOS\NIVEL 1.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 1	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

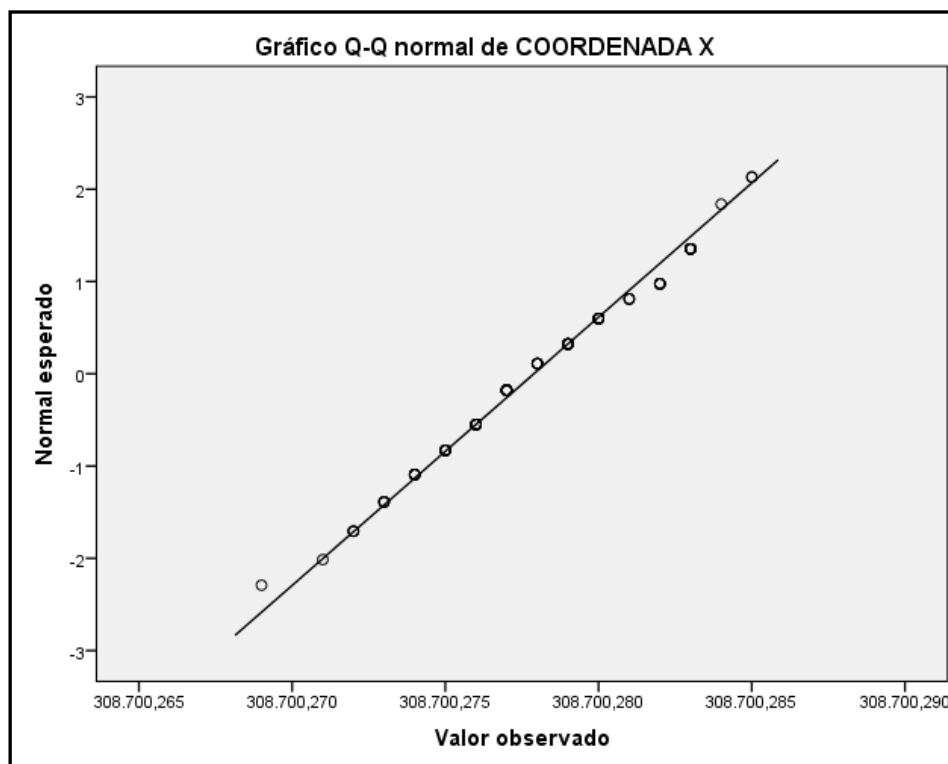
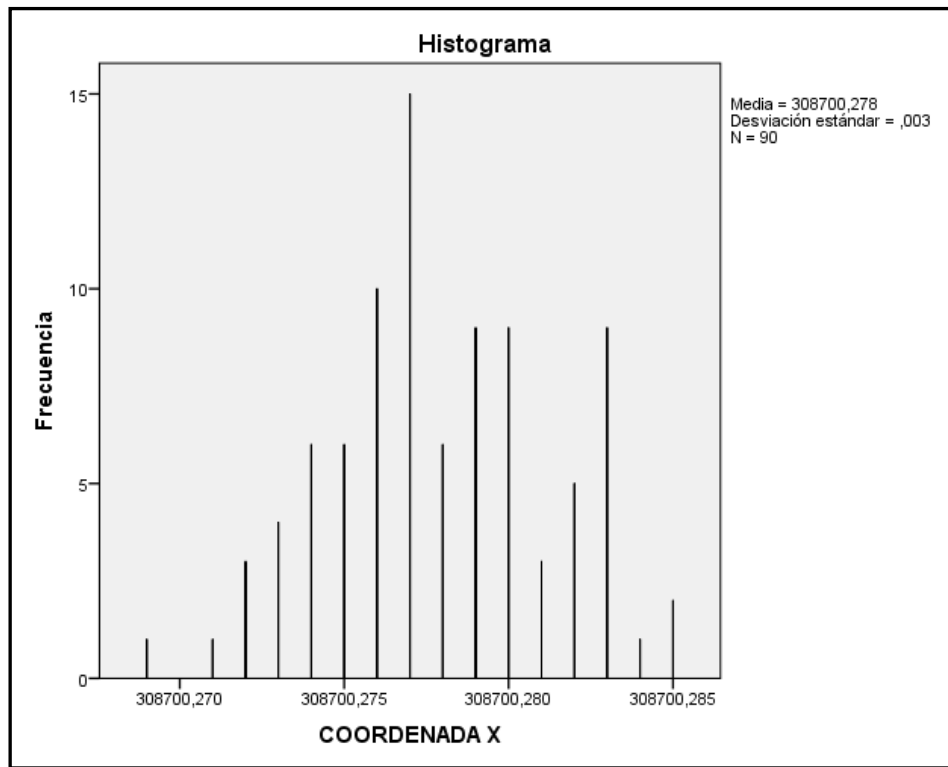
Descriptivos				Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media			308700,27789	,000363
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		308700,27717	
		Límite superior		308700,27861	
	Media recortada al 5%			308700,27792	
	Mediana			308700,27700	
	Varianza			,000	
	Desviación estándar			,003440	
	Mínimo			308700,269	
	Máximo			308700,285	
	Rango			,016	
	Rango intercuartil			,004	
	Asimetría			,000	,254
	Curtosis			-,453	,503
COORDENADA Y	Media			4240638,60028	,000516
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		4240638,59925	
		Límite superior		4240638,60130	
	Media recortada al 5%			4240638,60041	
	Mediana			4240638,60100	
	Varianza			,000	
	Desviación estándar			,004897	
	Mínimo			4,241E+06	
	Máximo			4,241E+06	
	Rango			,025	
	Rango intercuartil			,005	
	Asimetría			-,505	,254
	Curtosis			,101	,503
COORDENADA Z	Media			565,99578	,002139
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		565,99153	
		Límite superior		566,00003	
	Media recortada al 5%			565,99597	
	Mediana			565,99800	
	Varianza			,000	
	Desviación estándar			,020292	
	Mínimo			565,946	
	Máximo			566,041	
	Rango			,095	
	Rango intercuartil			,033	
	Asimetría			-,231	,254
	Curtosis			-,254	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

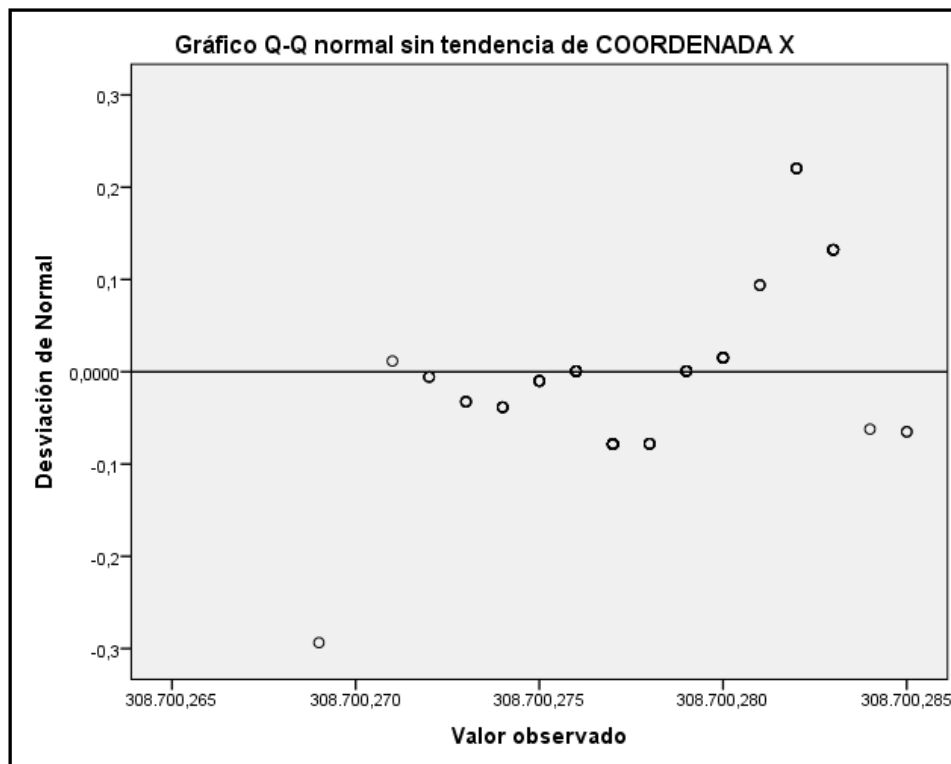
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	52	308700,285
		2	57	308700,285
		3	53	308700,284
		4	19	308700,283
		5	49	308700,283 ^a
	Menor	1	8	308700,269
		2	16	308700,271
		3	68	308700,272
		4	66	308700,272
		5	24	308700,272
COORDENADA Y	Mayor	1	22	4,241E+06
		2	43	4,241E+06
		3	47	4,241E+06
		4	26	4,241E+06
		5	41	4,241E+6 ^b
	Menor	1	77	4,241E+06
		2	86	4,241E+06
		3	85	4,241E+06
		4	82	4,241E+06
		5	73	4,241E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	48	566,041
		2	22	566,040
		3	43	566,036
		4	4	566,027
		5	47	566,024
	Menor	1	73	565,946
		2	11	565,947
		3	79	565,956
		4	85	565,961
		5	77	565,961

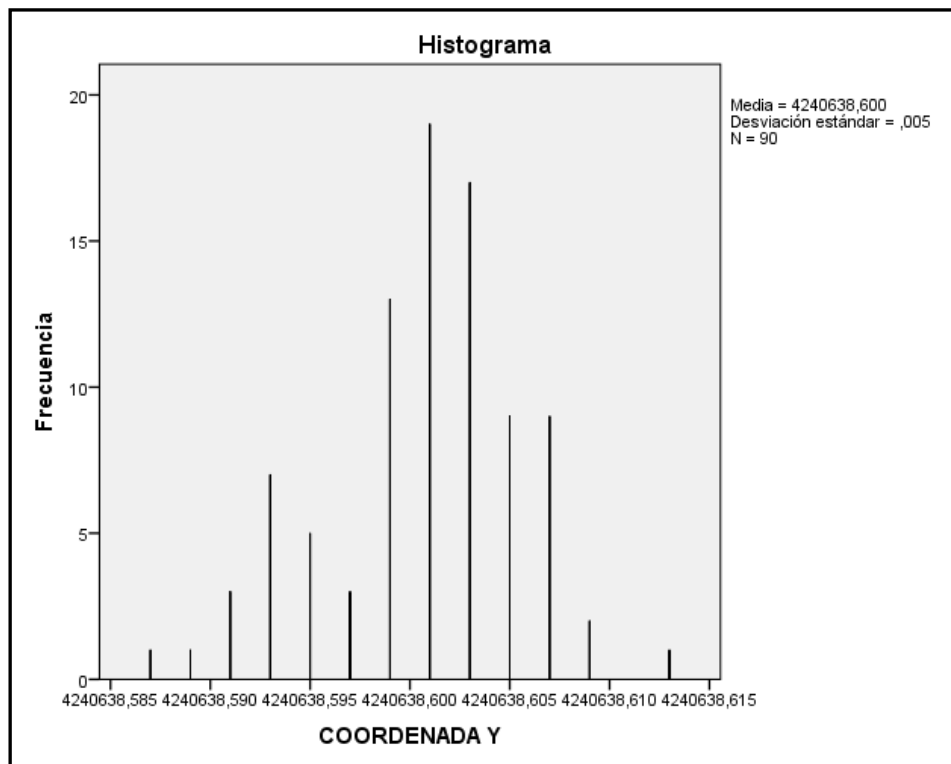
COORDENADA X



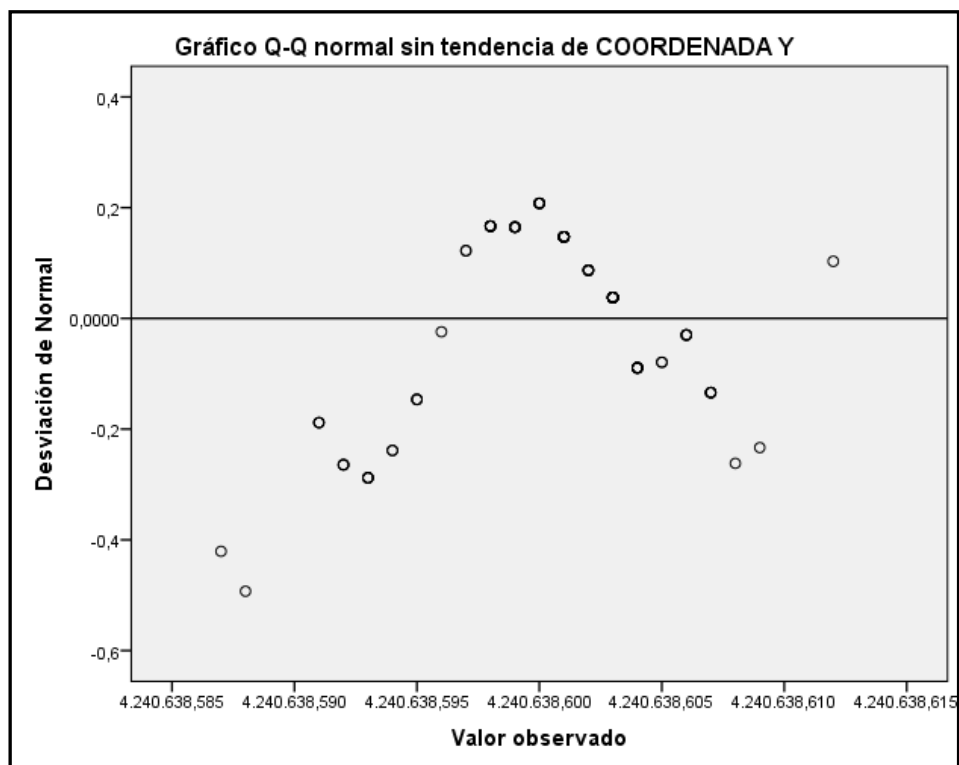
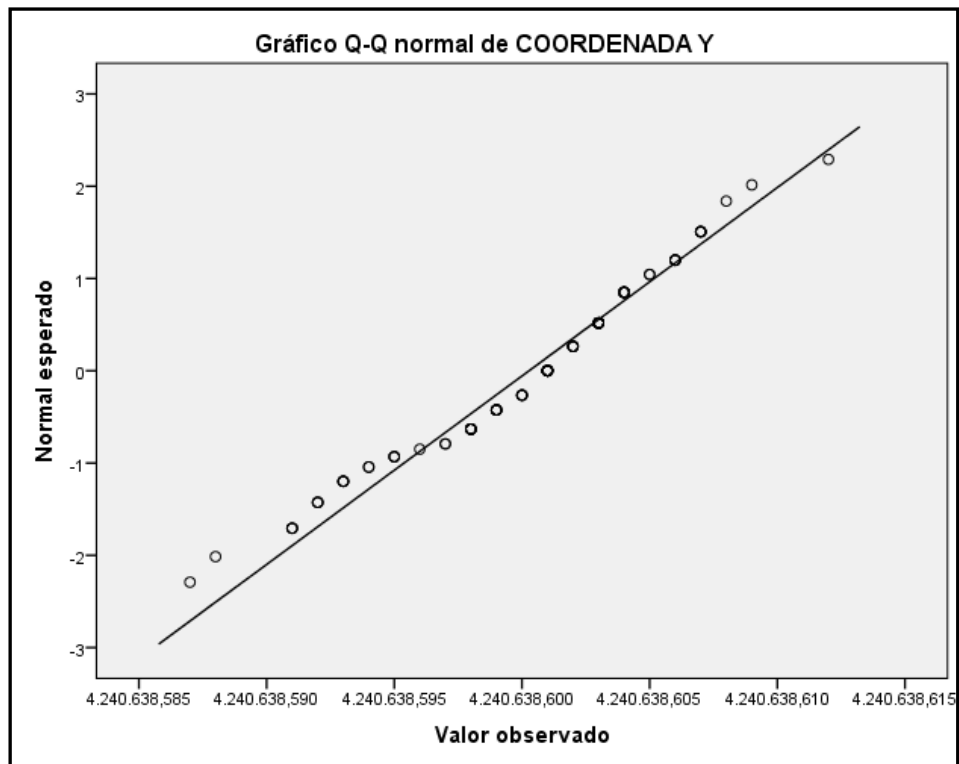
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



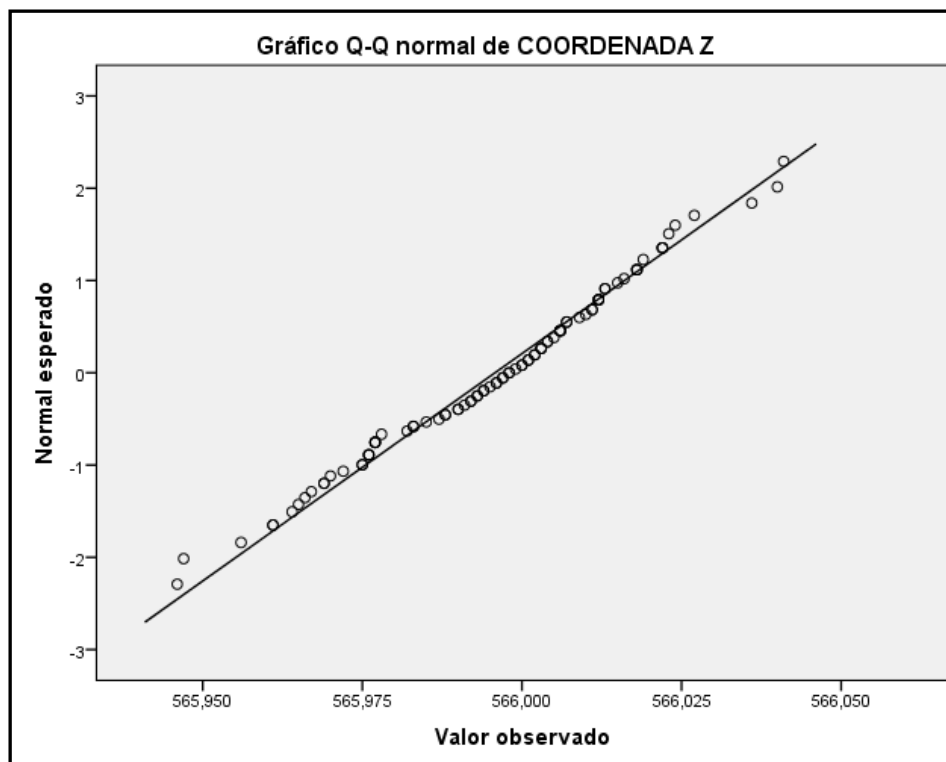
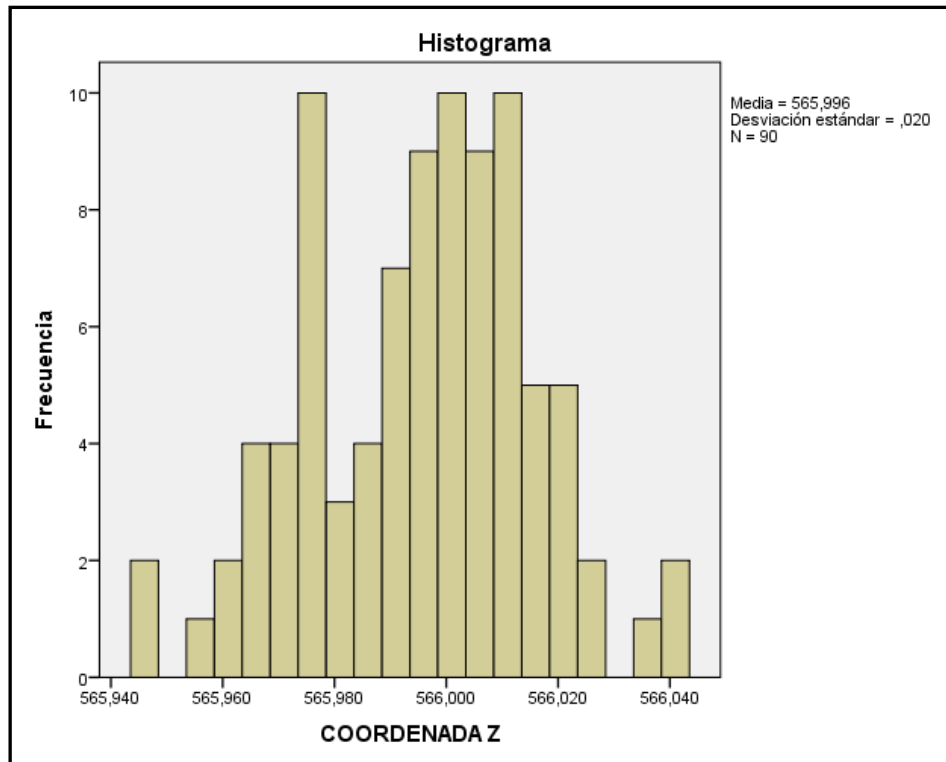
COORDENADA Y



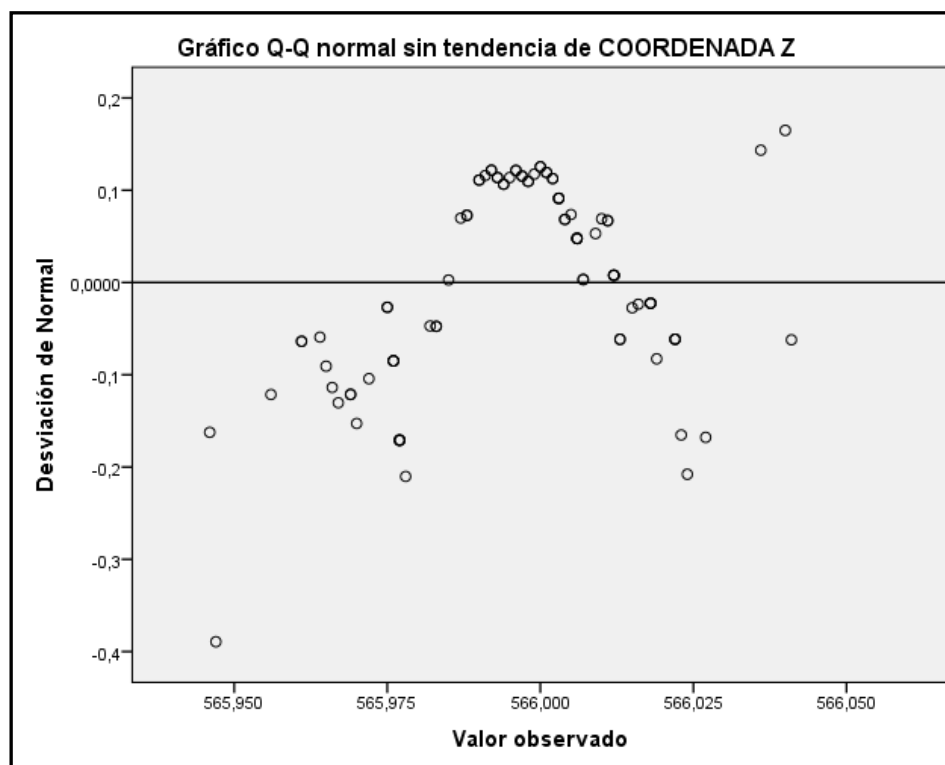
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.2.2.- NIVEL 2

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\POZOBLANCO\ANÁLISIS DE DATOS\NIVEL2.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 2	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

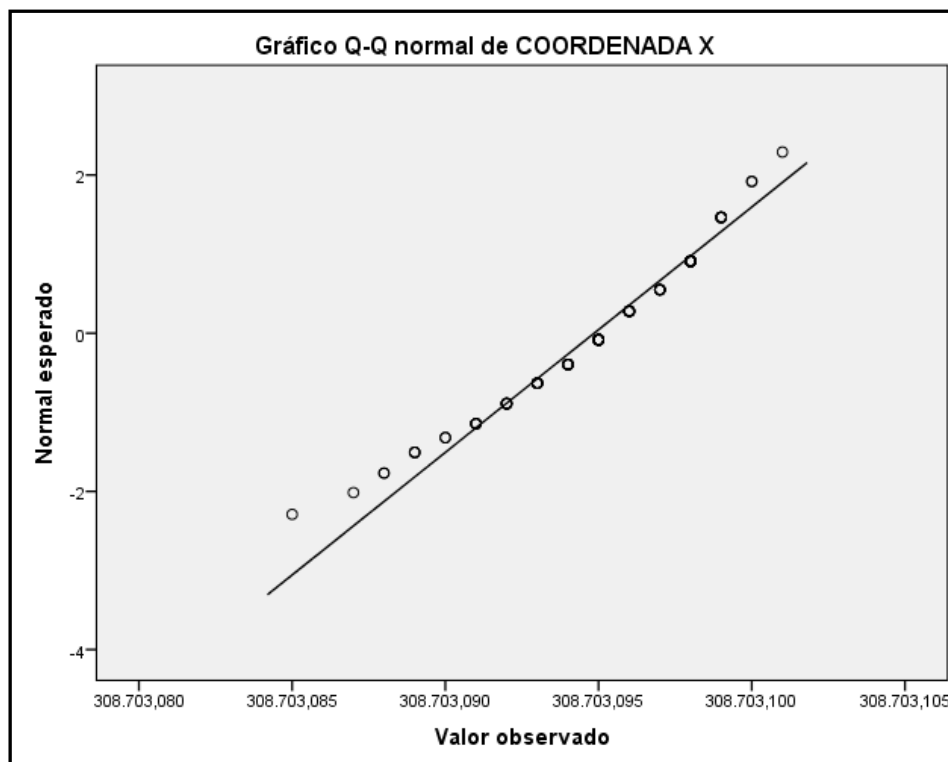
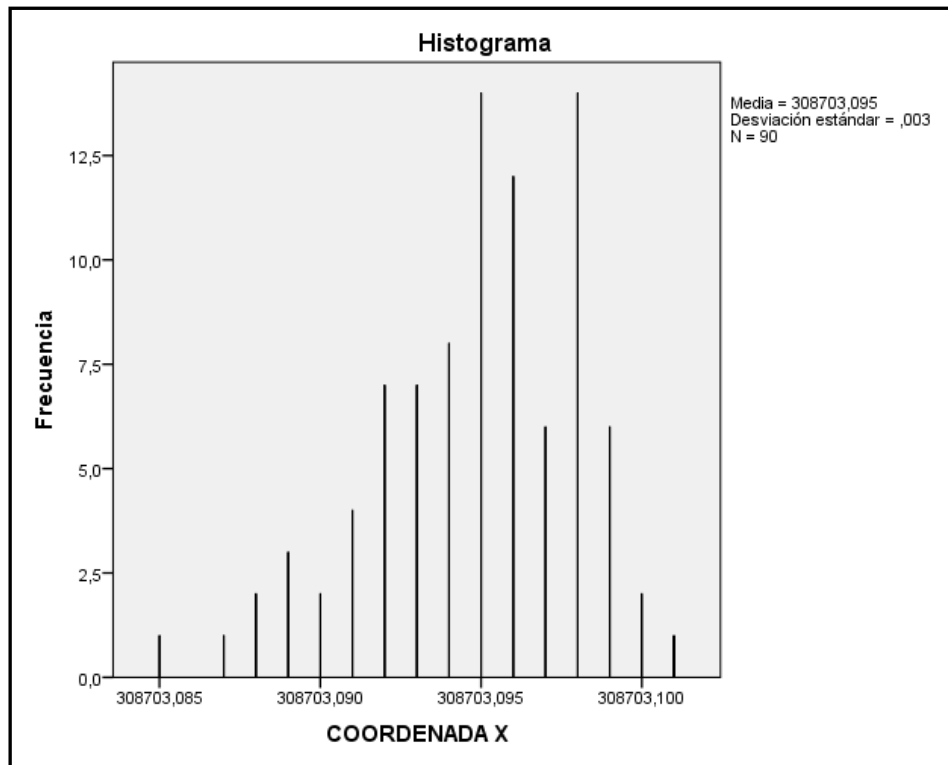
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	308703,09486	,000340
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	308703,09418 308703,09553
	Media recortada al 5%	308703,09500	
	Mediana	308703,09500	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003224	
	Mínimo	308703,085	
	Máximo	308703,101	
	Rango	,016	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	-,657	,254
	Curtosis	,217	,503
COORDENADA Y	Media	4240601,79634	,000390
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4240601,79557 4240601,79712
	Media recortada al 5%	4240601,79625	
	Mediana	4240601,79600	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003700	
	Mínimo	4,241E+06	
	Máximo	4,241E+06	
	Rango	,015	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	,448	,254
	Curtosis	-,413	,503
COORDENADA Z	Media	566,04772	,001970
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	566,04381 566,05164
	Media recortada al 5%	566,04741	
	Mediana	566,04450	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,018693	
	Mínimo	566,008	
	Máximo	566,089	
	Rango	,081	
	Rango intercuartil	,024	
	Asimetría	,429	,254
	Curtosis	-,317	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

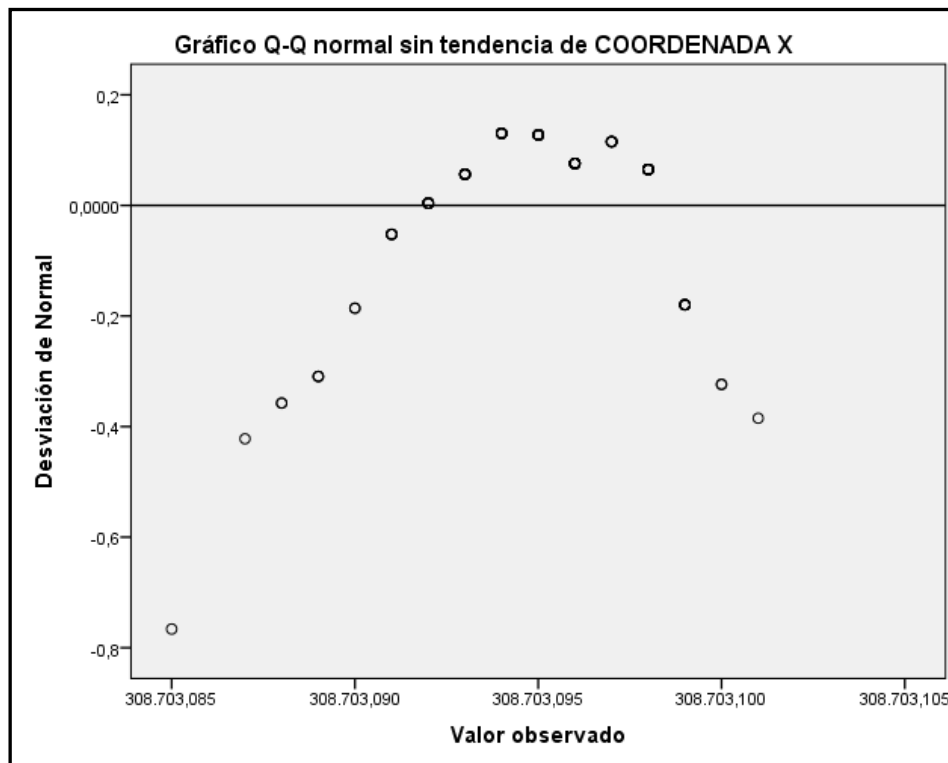
VALORES EXTREMOS

Valores extremos			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	81	308703,101
		2	59	308703,100
		3	62	308703,100
		4	25	308703,099
		5	26	308703,099 ^a
	Menor	1	7	308703,085
		2	9	308703,087
		3	10	308703,088
		4	3	308703,088
		5	8	308703,089 ^b
COORDENADA Y	Mayor	1	73	4,241E+06
		2	75	4,241E+06
		3	77	4,241E+06
		4	74	4,241E+06
		5	78	4,241E+6 ^c
	Menor	1	45	4,241E+06
		2	40	4,241E+06
		3	34	4,241E+06
		4	30	4,241E+06
		5	49	4,241E+6 ^d
COORDENADA Z	Mayor	1	7	566,089
		2	2	566,087
		3	10	566,086
		4	5	566,085
		5	6	566,085
	Menor	1	82	566,008
		2	76	566,013
		3	73	566,016
		4	69	566,018
		5	78	566,020

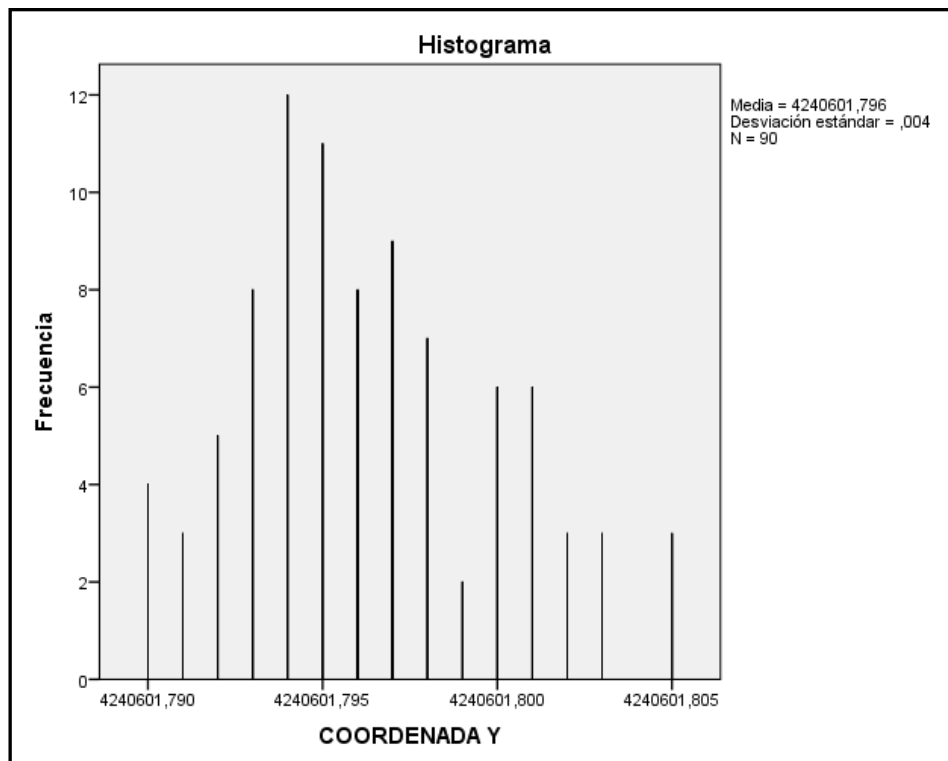
COORDENADA X



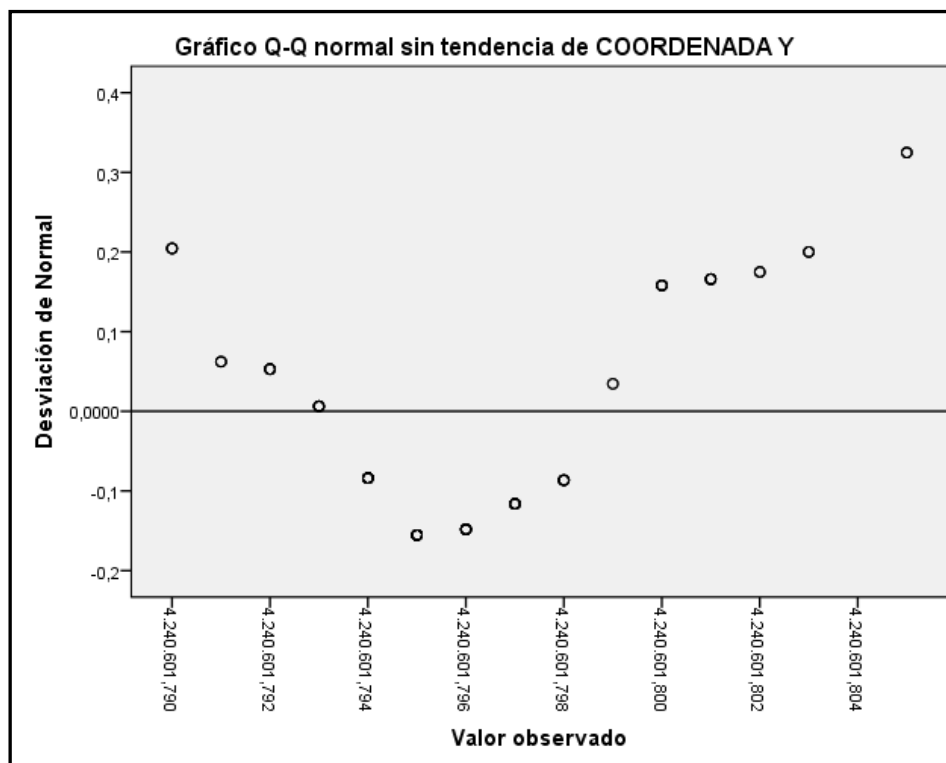
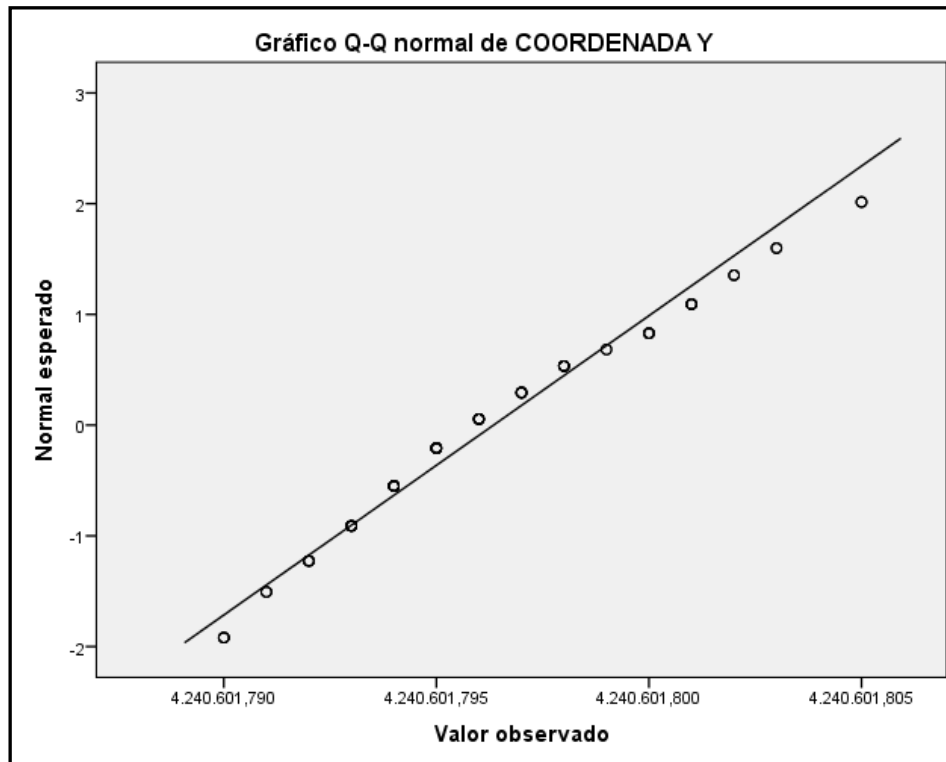
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



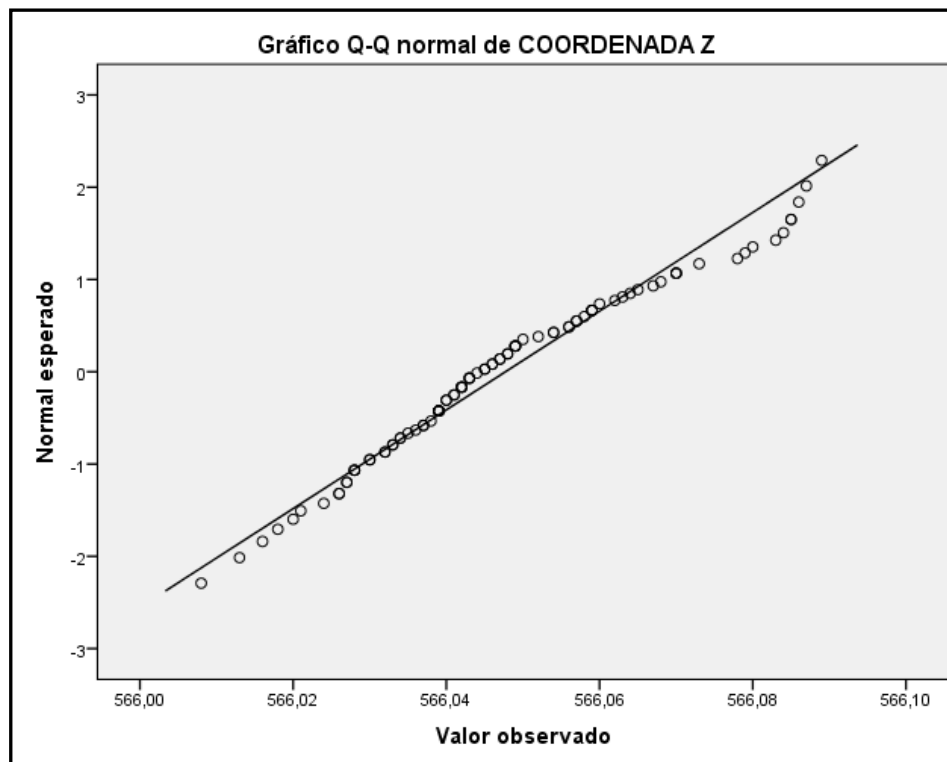
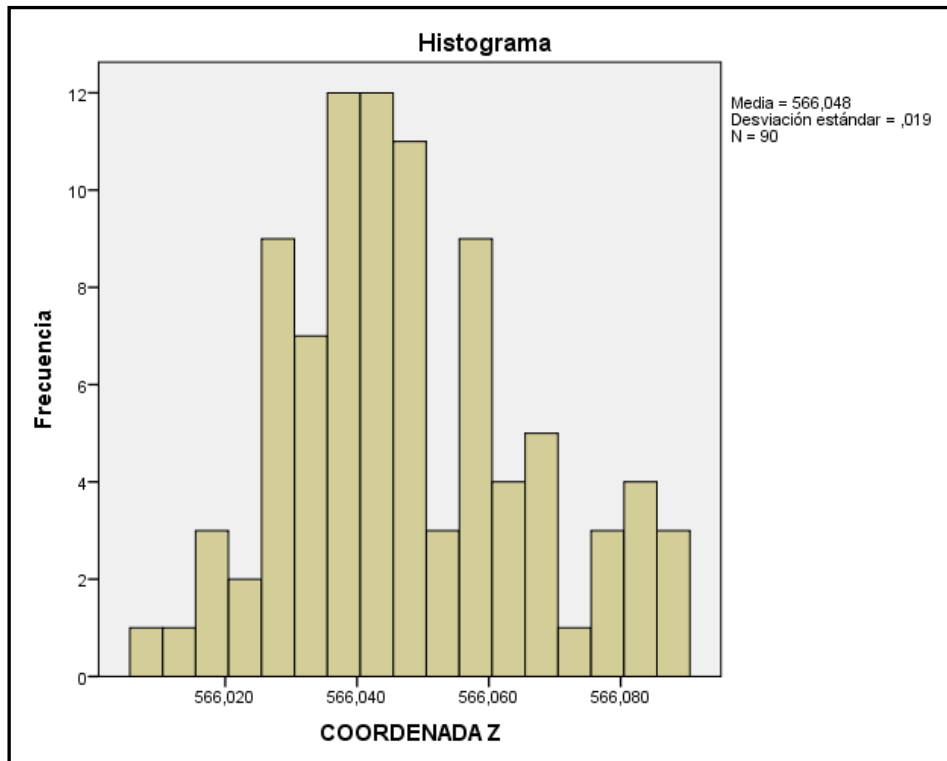
COORDENADA Y



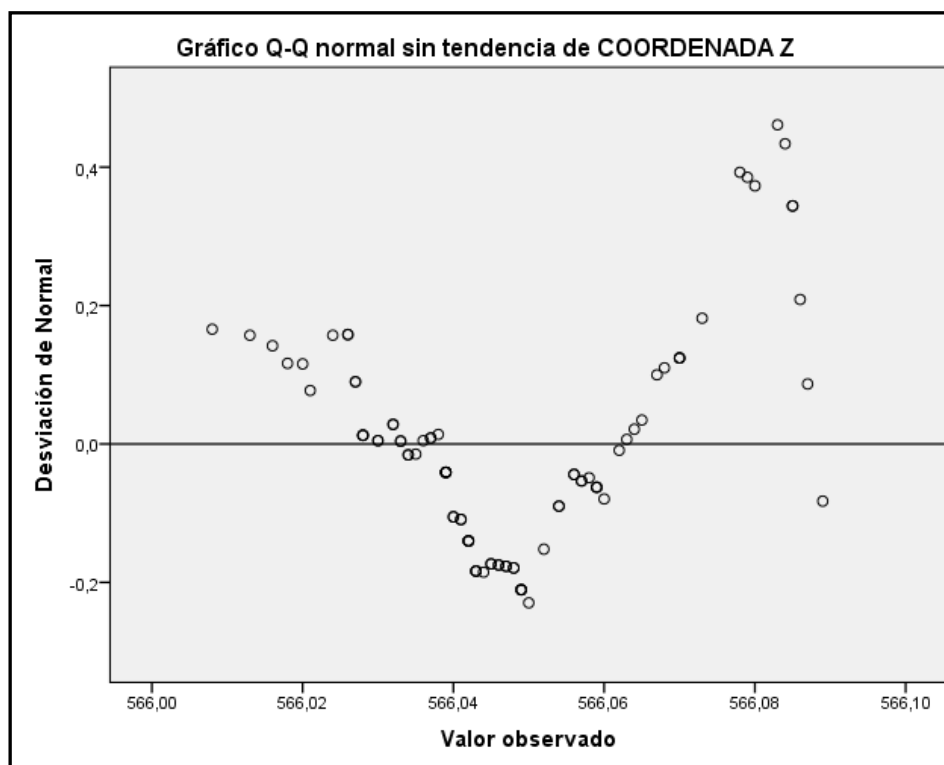
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.2.3.- NIVEL 3

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\POZOBLANCO\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL3.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 3	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

DESCRIPTIVOS

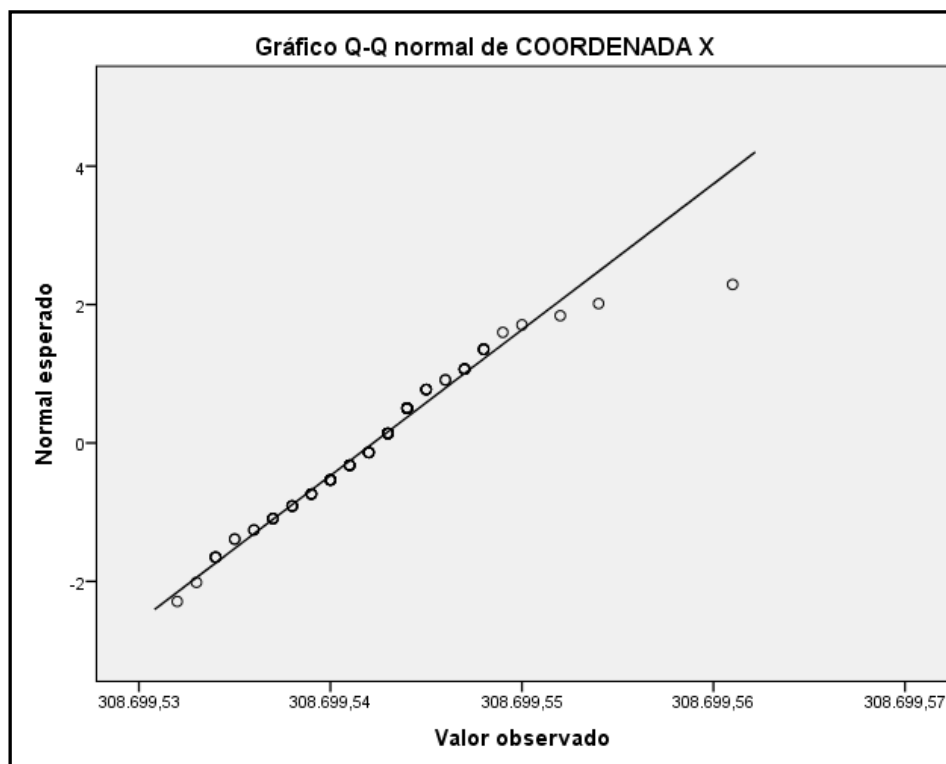
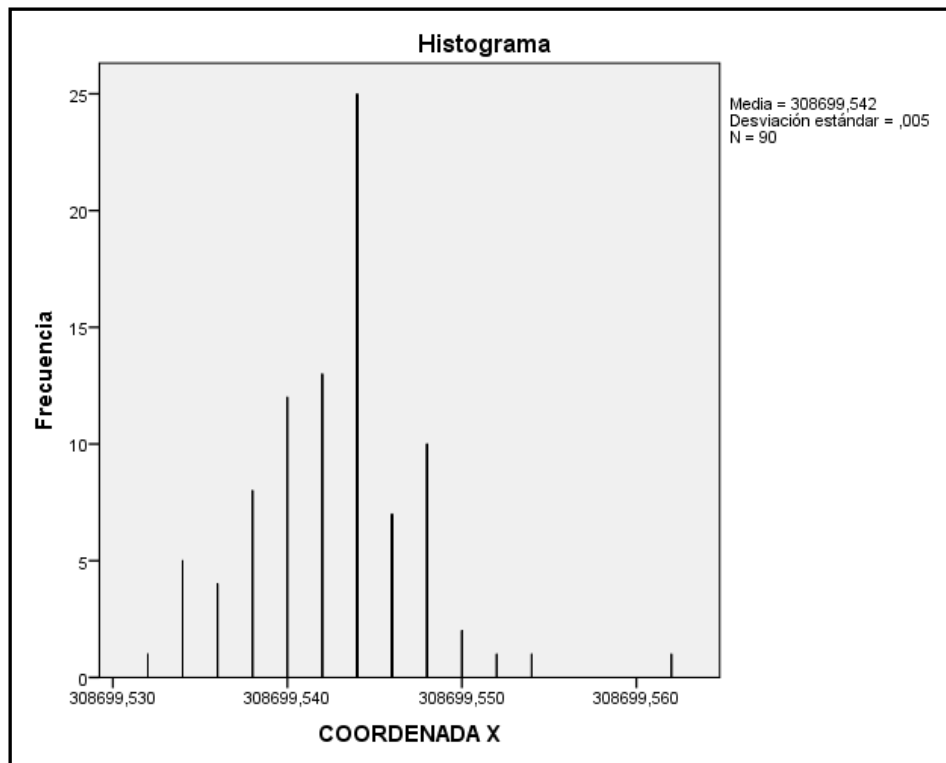
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	308699,54223	,000500
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	308699,54124 308699,54323
	Media recortada al 5%	308699,54209	
	Mediana	308699,54300	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004745	
	Mínimo	308699,532	
	Máximo	308699,561	
	Rango	,029	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	,566	,254
	Curtosis	2,042	,503
COORDENADA Y	Media	4240577,14014	,001055
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4240577,13805 4240577,14224
	Media recortada al 5%	4240577,14046	
	Mediana	4240577,14000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,010010	
	Mínimo	4,241 E+06	
	Máximo	4,241 E+06	
	Rango	,042	
	Rango intercuartil	,018	
	Asimetría	-,303	,254
	Curtosis	-,728	,503
COORDENADA Z	Media	565,91731	,002436
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	565,91247 565,92215
	Media recortada al 5%	565,91694	
	Mediana	565,91650	
	Varianza	,001	
	Desviación estándar	,023114	
	Mínimo	565,871	
	Máximo	565,983	
	Rango	,112	
	Rango intercuartil	,036	
	Asimetría	,199	,254
	Curtosis	-,255	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

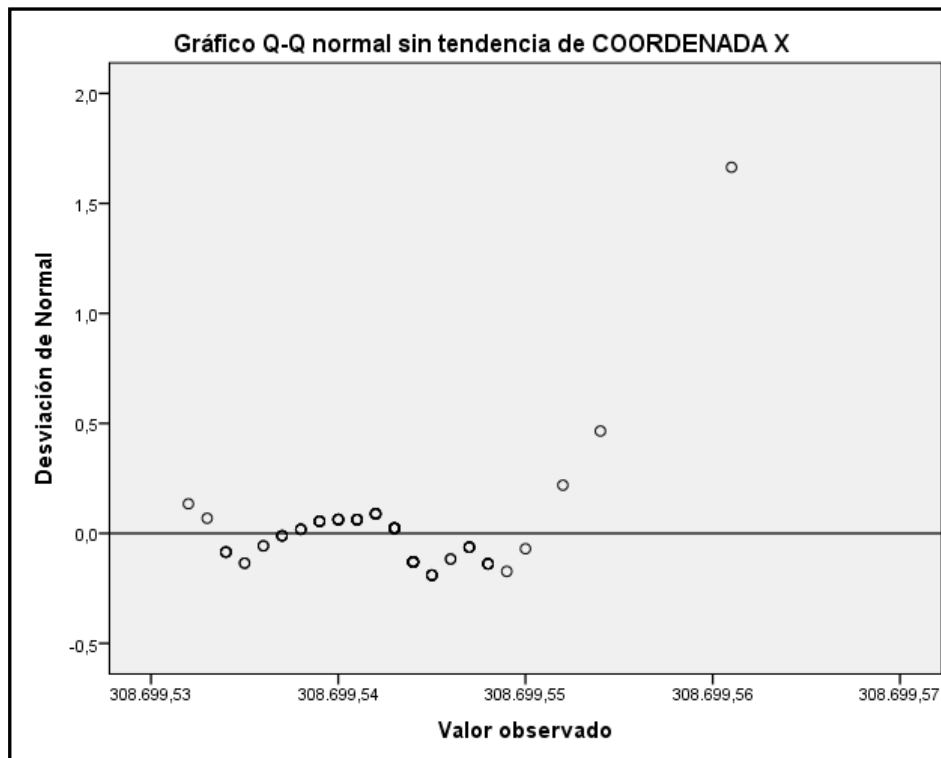
VALORES EXTREMOS

Valores extremos			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	23	308699,561
		2	22	308699,554
		3	26	308699,552
		4	25	308699,550
		5	52	308699,549
	Menor	1	13	308699,532
		2	7	308699,533
		3	45	308699,534
		4	31	308699,534
		5	21	308699,534 ^a
COORDENADA Y	Mayor	1	74	4,241E+06
		2	75	4,241E+06
		3	80	4,241E+06
		4	57	4,241E+06
		5	73	4,241E+6 ^b
	Menor	1	19	4,241E+06
		2	18	4,241E+06
		3	17	4,241E+06
		4	16	4,241E+06
		5	11	4,241E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	13	565,983
		2	86	565,965
		3	15	565,964
		4	14	565,960
		5	88	565,954
	Menor	1	40	565,871
		2	36	565,871
		3	29	565,875
		4	41	565,879
		5	26	565,881 ^c

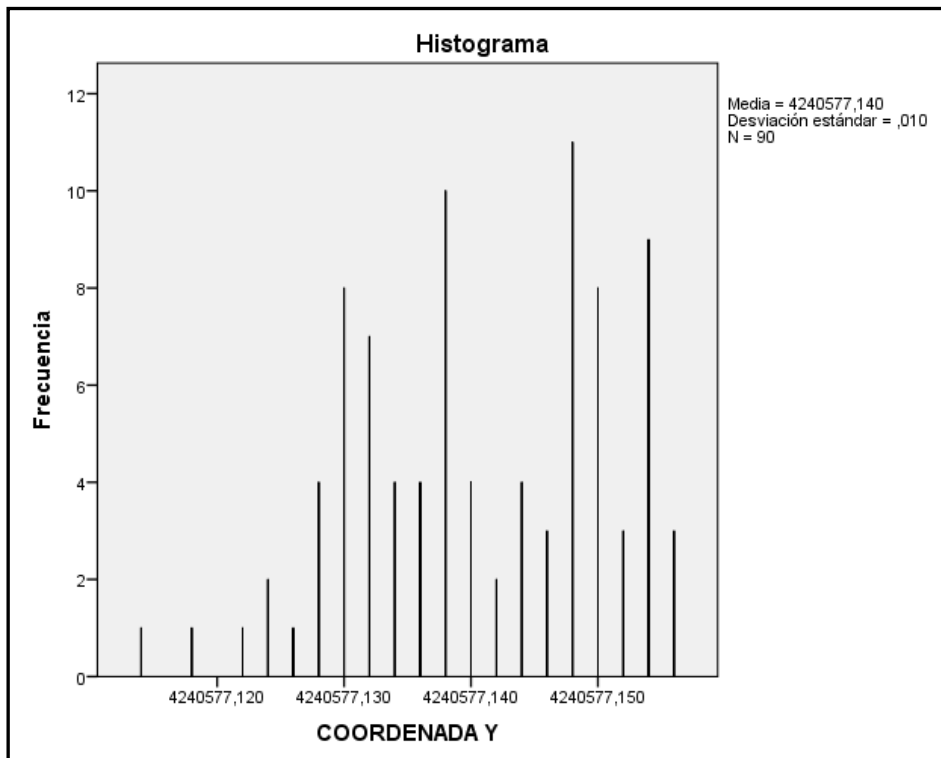
COORDENADA X



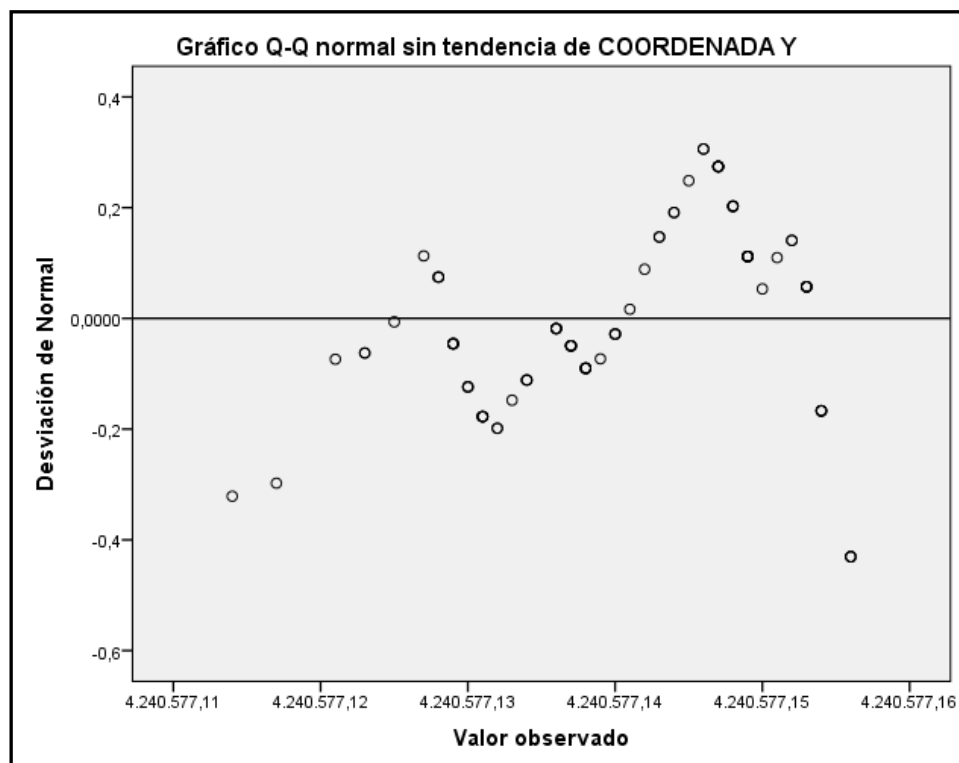
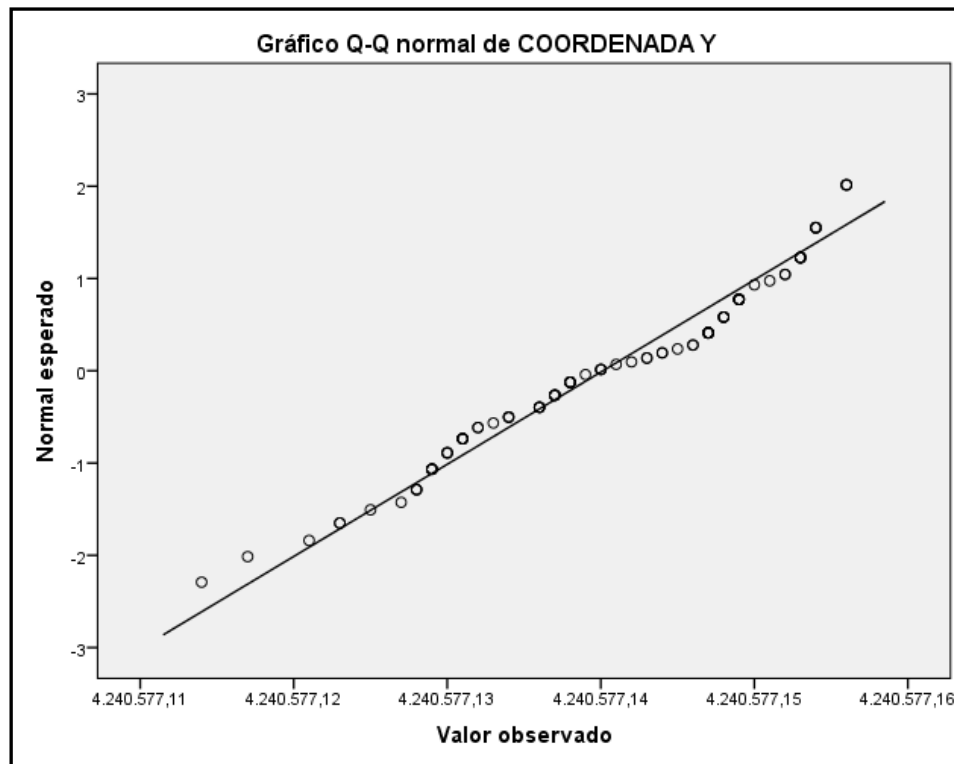
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



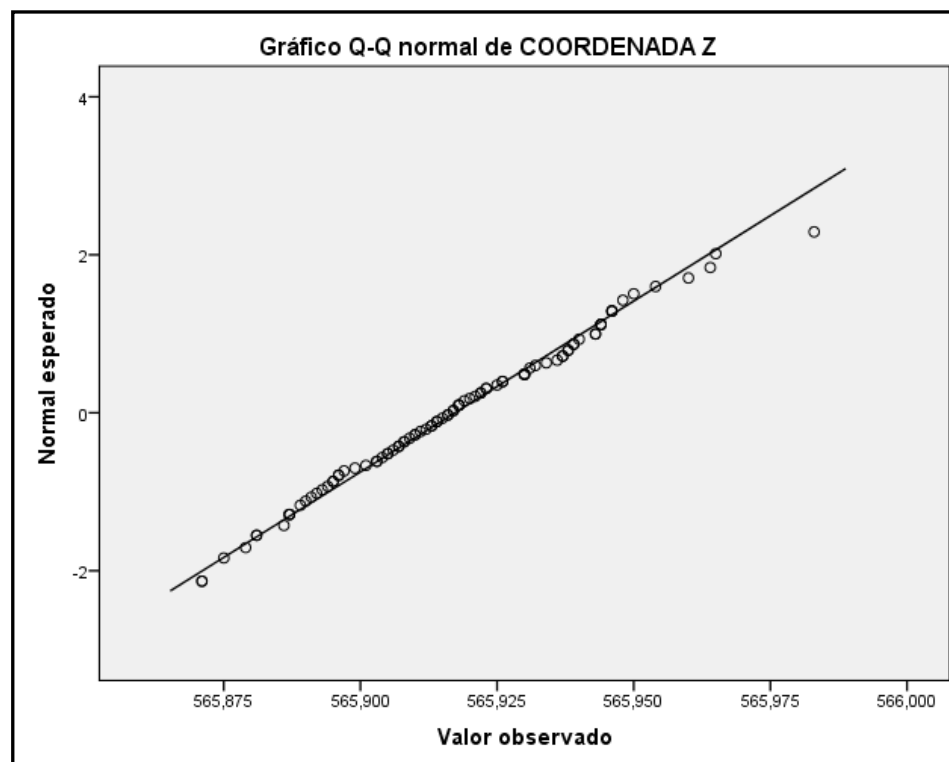
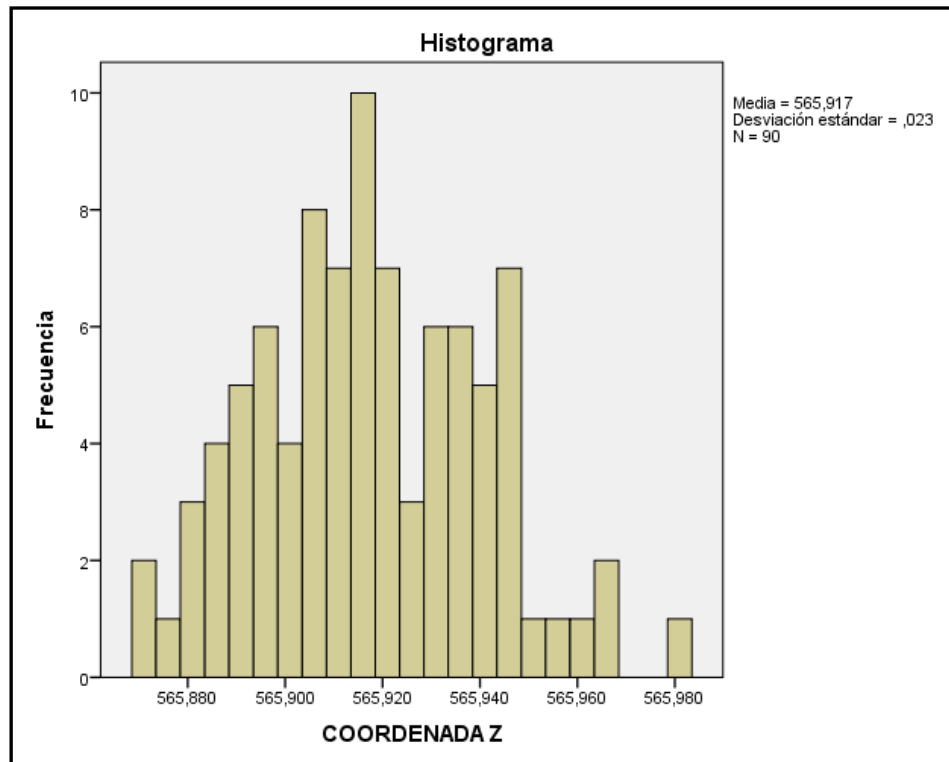
COORDENADA Y



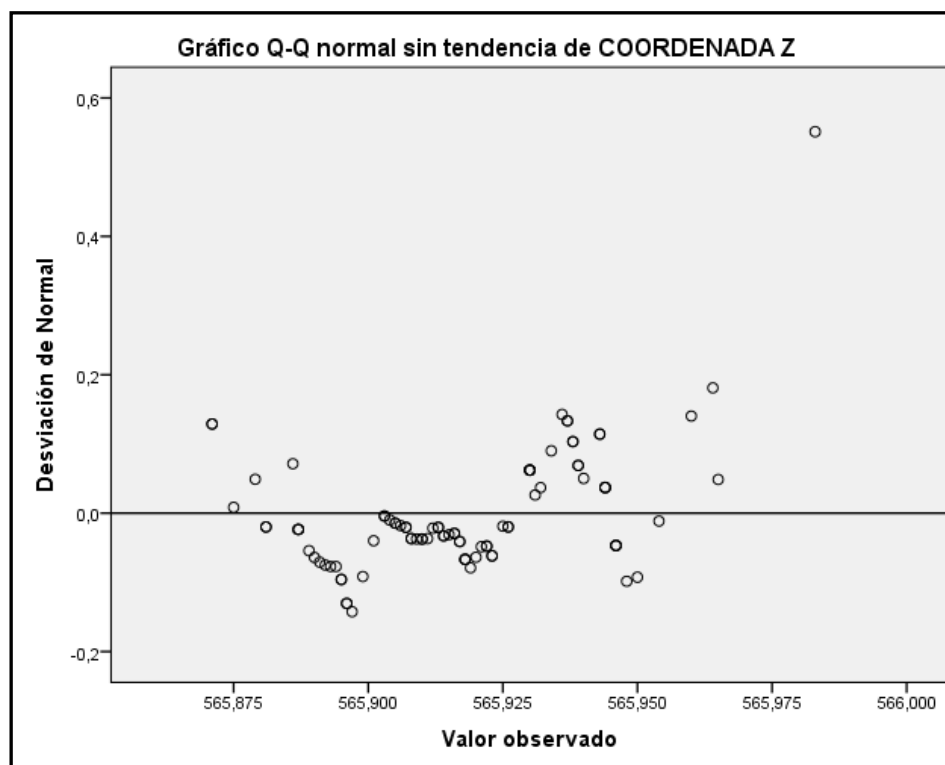
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.2.4.- NIVEL 4

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\POZOBLANCO\ANÁLISIS DE DATOS\NIVEL4.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 5	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

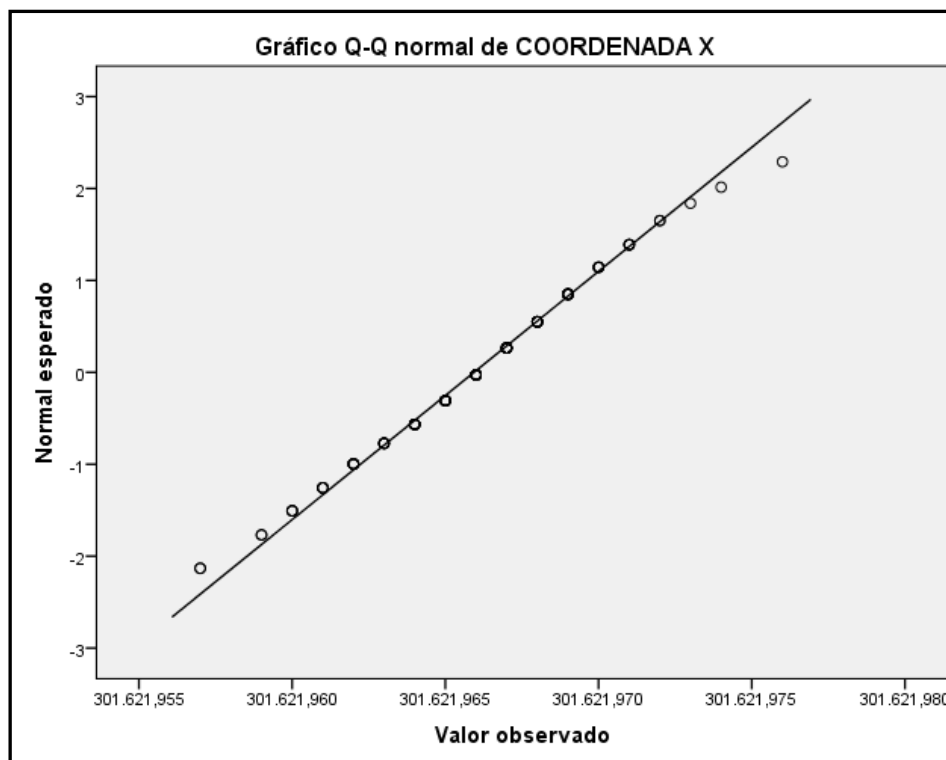
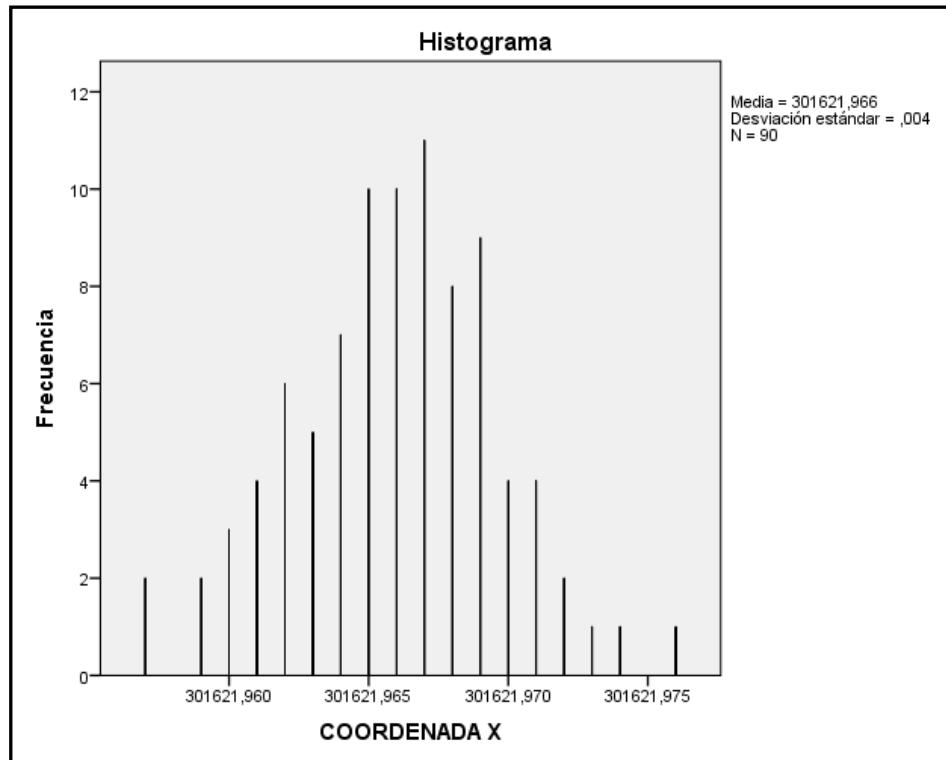
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301621,96593	,000390
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	301621,96516 301621,96671
	Media recortada al 5%	301621,96594	
	Mediana	301621,96600	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003702	
	Mínimo	301621,957	
	Máximo	301621,976	
	Rango	,019	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	-,062	,254
	Curtosis	,081	,503
COORDENADA Y	Media	4233046,35637	,000549
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4233046,35528 4233046,35746
	Media recortada al 5%	4233046,35630	
	Mediana	4233046,35600	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005211	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,025	
	Rango intercuartil	,008	
	Asimetría	,214	,254
	Curtosis	-,121	,503
COORDENADA Z	Media	547,20812	,001820
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	547,20451 547,21174
	Media recortada al 5%	547,20791	
	Mediana	547,20600	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,017268	
	Mínimo	547,171	
	Máximo	547,250	
	Rango	,079	
	Rango intercuartil	,028	
	Asimetría	,230	,254
	Curtosis	-,643	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

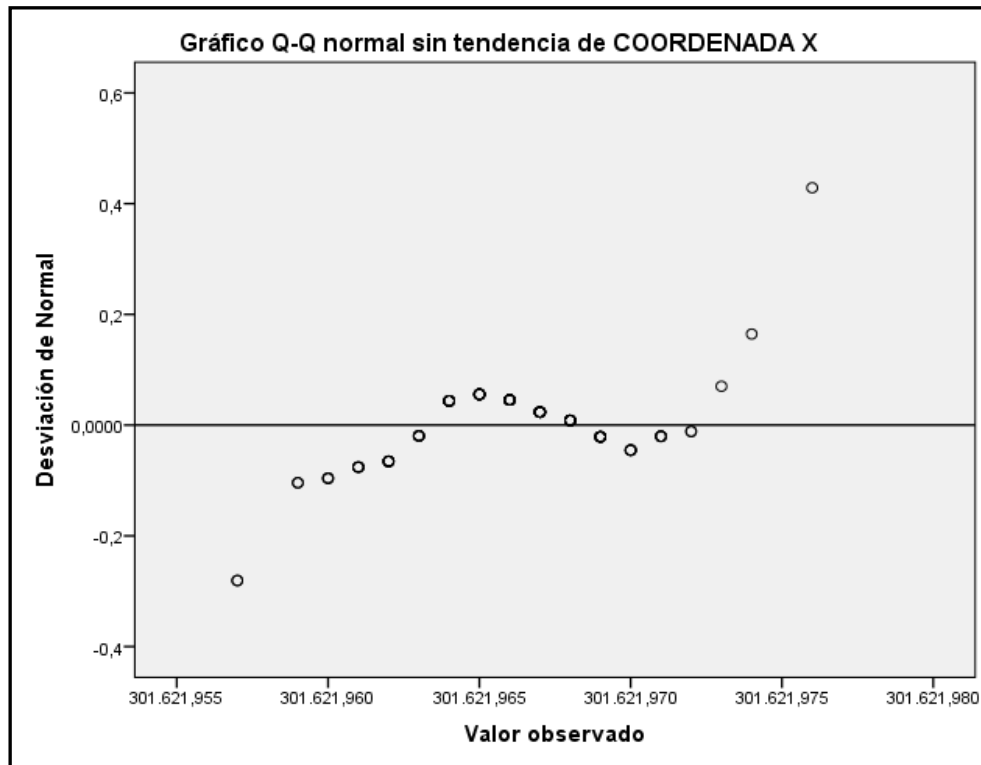
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	37	301621,976
		2	44	301621,974
		3	34	301621,973
		4	67	301621,972
		5	70	301621,972
	Menor	1	89	301621,957
		2	88	301621,957
		3	87	301621,959
		4	11	301621,959
		5	90	301621,960 ^a
COORDENADA Y	Mayor	1	73	4,233E+06
		2	76	4,233E+06
		3	83	4,233E+06
		4	78	4,233E+06
		5	75	4,233E+06
	Menor	1	12	4,233E+06
		2	46	4,233E+06
		3	37	4,233E+06
		4	41	4,233E+06
		5	38	4,233E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	51	547,250
		2	48	547,244
		3	50	547,241
		4	55	547,238
		5	64	547,238
	Menor	1	18	547,171
		2	11	547,174
		3	20	547,178
		4	25	547,183
		5	21	547,184

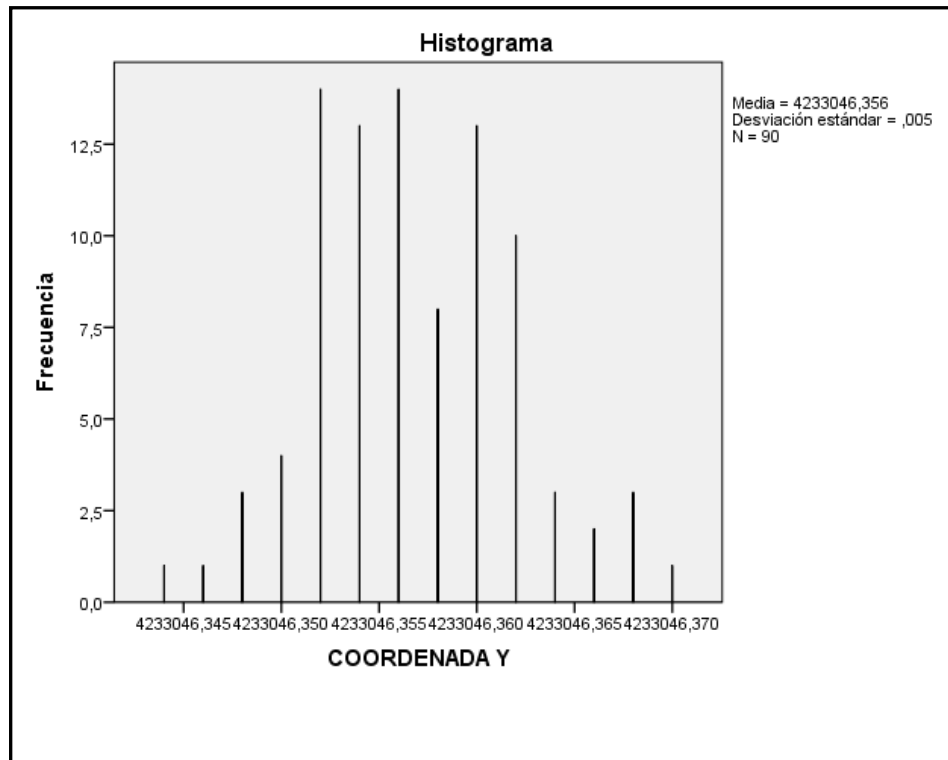
COORDENADA X



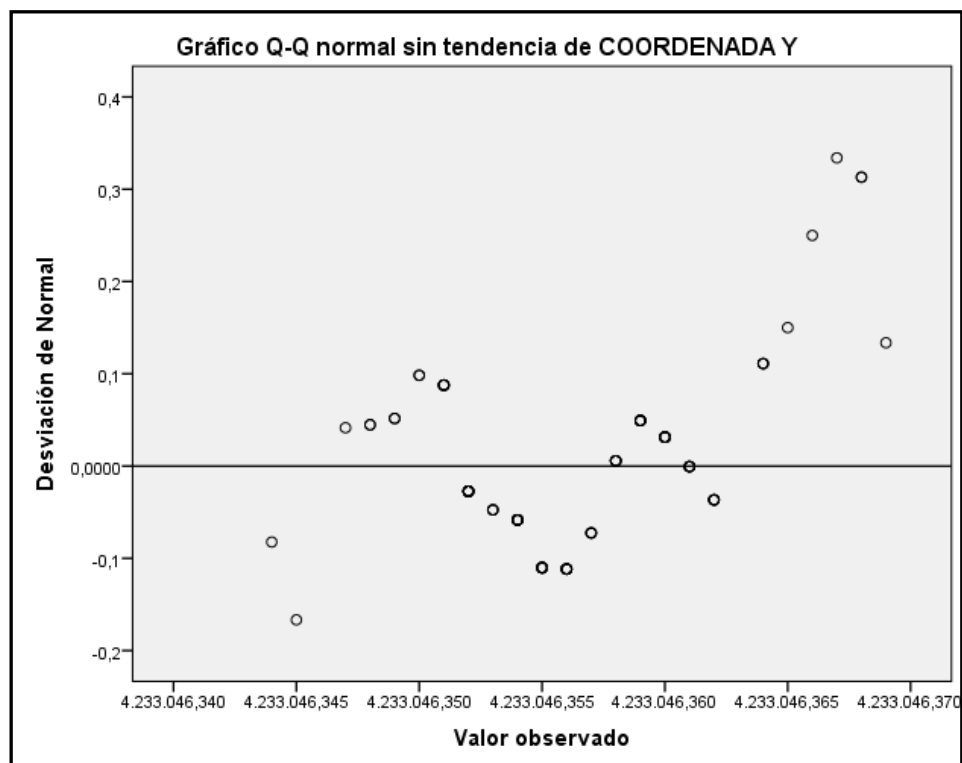
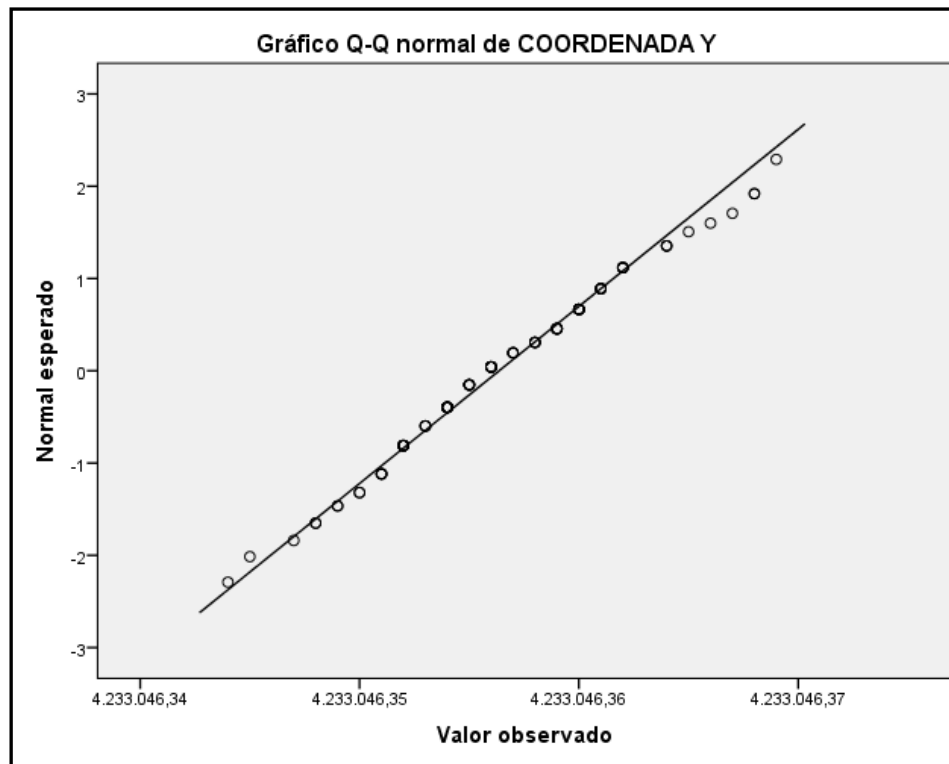
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



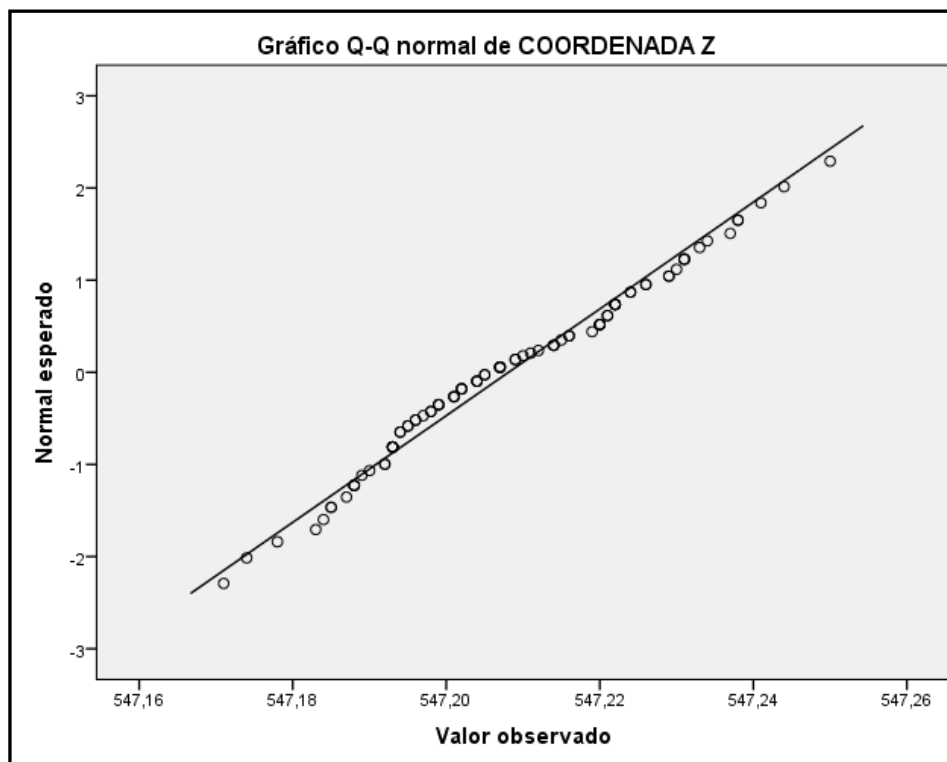
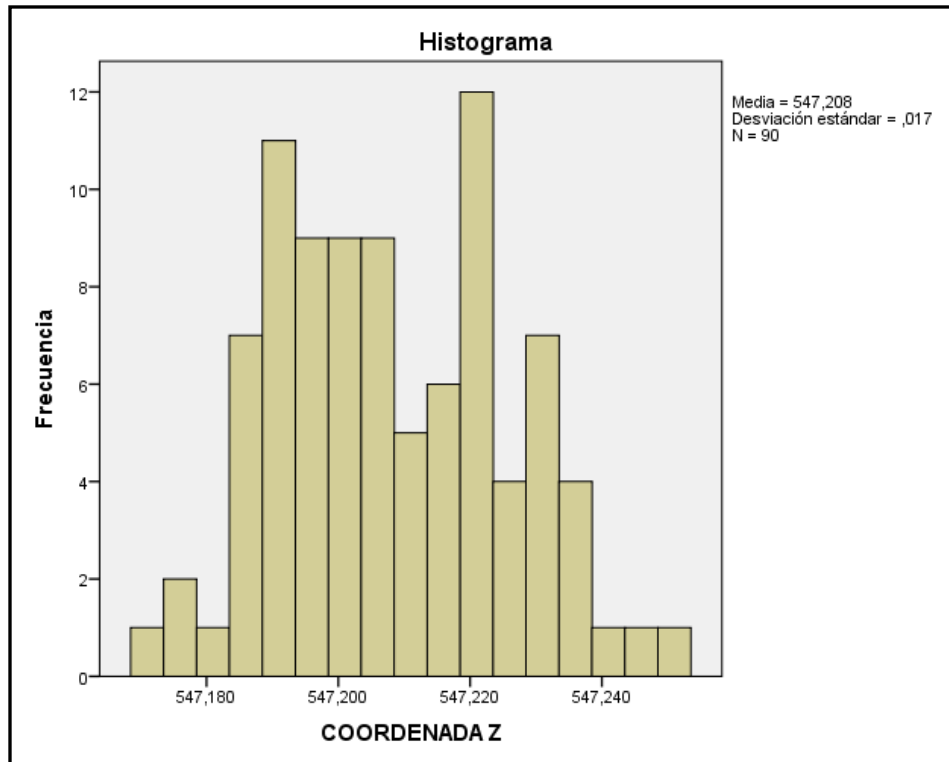
COORDENADA Y



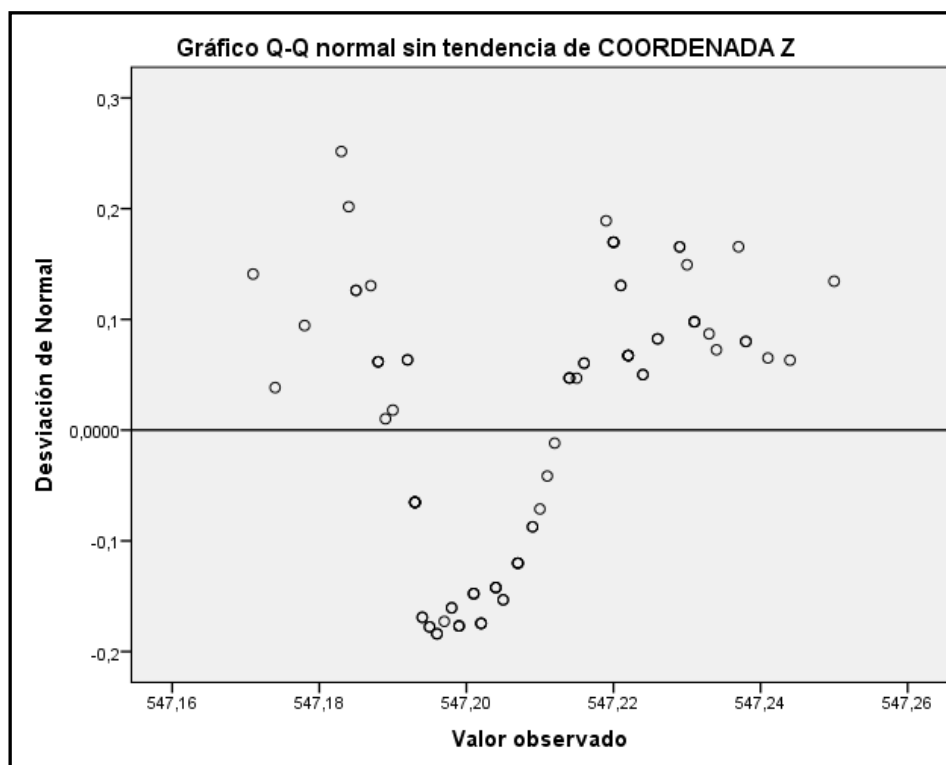
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.2.5.- NIVEL 5

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\POZOBLANCO\ANÁLISIS DE DATOS\NIVEL5.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 5	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

DESCRIPTIVOS

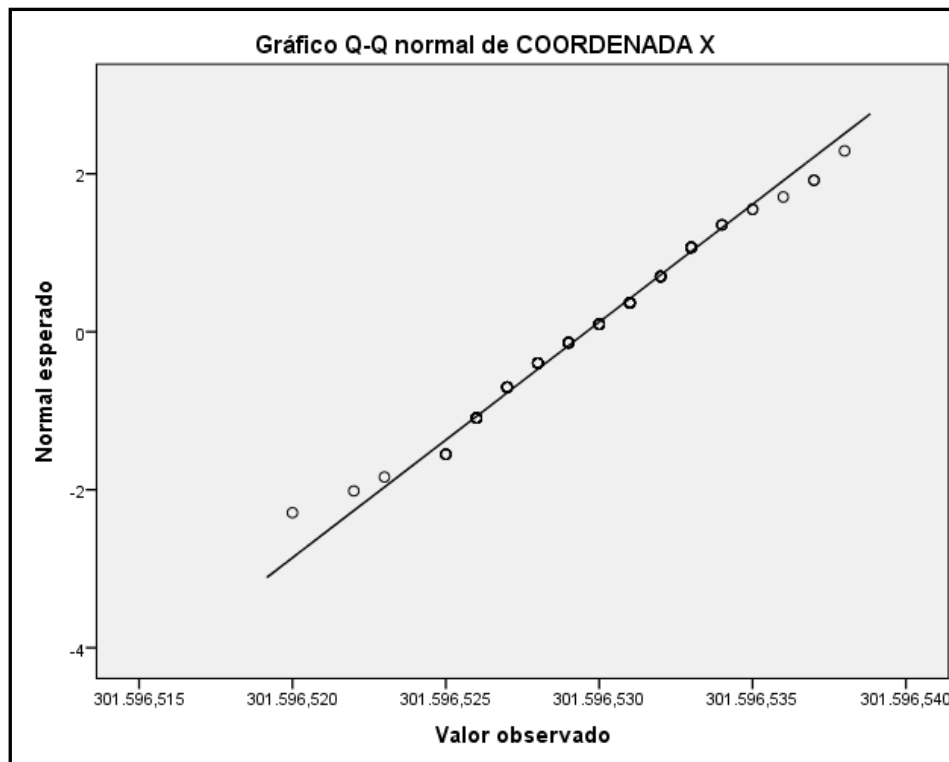
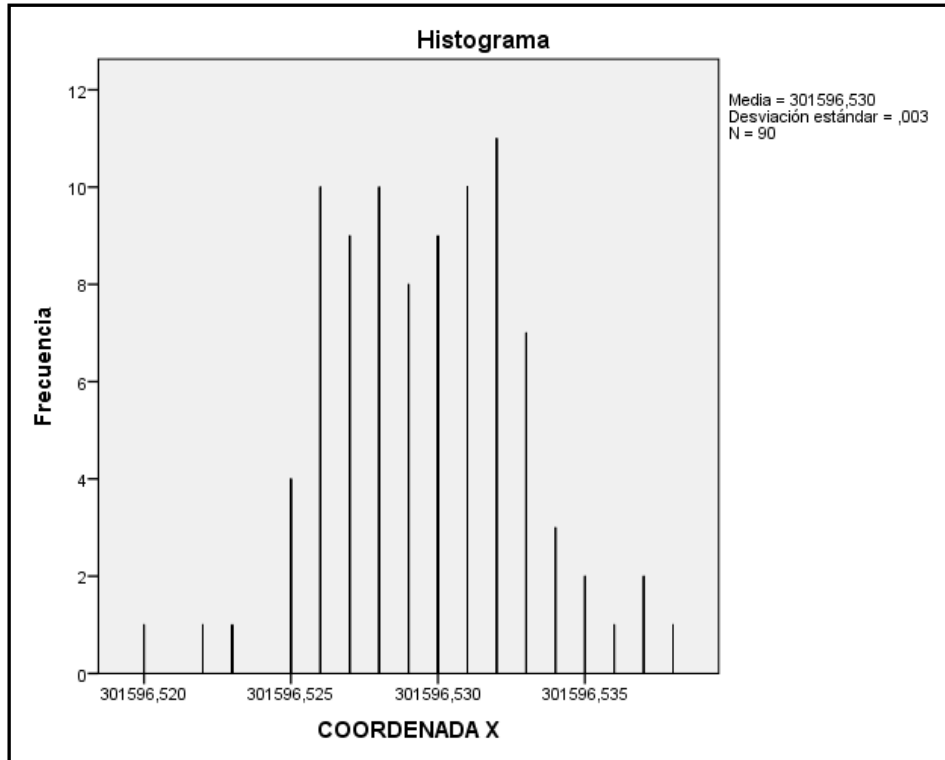
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301596,52959	,000353
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	
		301596,52889 301596,53029	
	Media recortada al 5%	301596,52957	
	Mediana	301596,53000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003352	
	Mínimo	301596,520	
	Máximo	301596,538	
	Rango	,018	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	,017	,254
	Curtosis	,182	,503
COORDENADA Y	Media	4233062,97021	,000560
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	
		4233062,96910 4233062,97132	
	Media recortada al 5%	4233062,97031	
	Mediana	4233062,97100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005316	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,026	
	Rango intercuartil	,007	
	Asimetría	-,317	,254
	Curtosis	-,161	,503
COORDENADA Z	Media	547,15726	,001139
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	
		547,15499 547,15952	
	Media recortada al 5%	547,15712	
	Mediana	547,15650	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,010806	
	Mínimo	547,137	
	Máximo	547,184	
	Rango	,047	
	Rango intercuartil	,016	
	Asimetría	,139	,254
	Curtosis	-,750	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

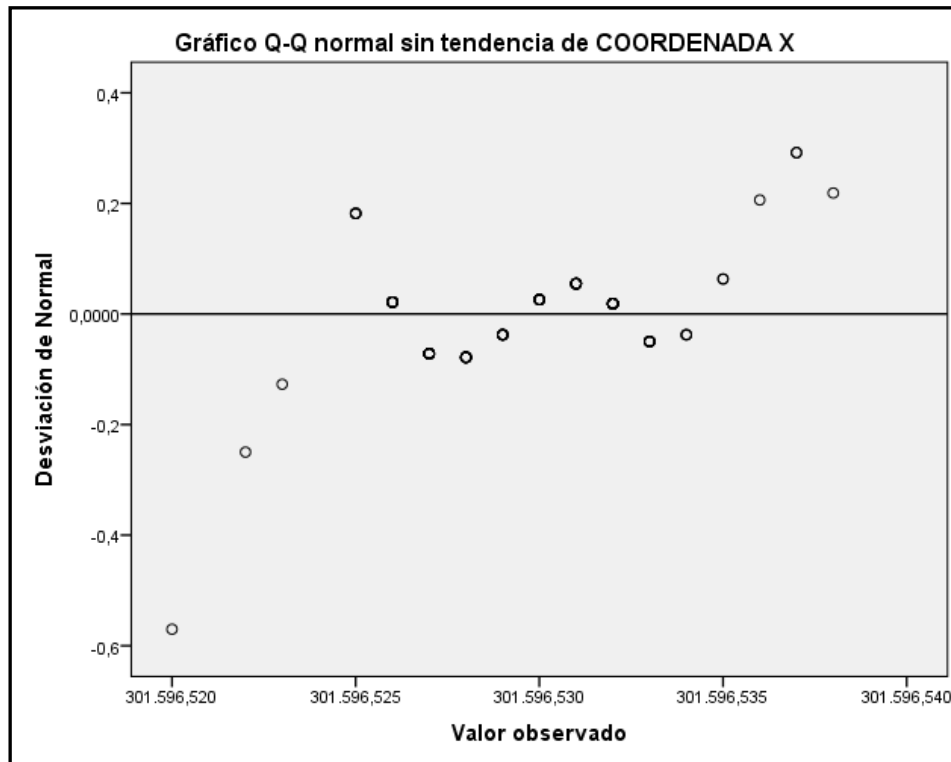
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	63	301596,538
		2	54	301596,537
		3	59	301596,537
		4	45	301596,536
		5	37	301596,535 ^a
	Menor	1	21	301596,520
		2	79	301596,522
		3	90	301596,523
		4	81	301596,525
		5	51	301596,525 ^b
COORDENADA Y	Mayor	1	81	4,233E+06
		2	90	4,233E+06
		3	21	4,233E+06
		4	62	4,233E+06
		5	79	4,233E+6 ^c
	Menor	1	7	4,233E+06
		2	46	4,233E+06
		3	45	4,233E+06
		4	50	4,233E+06
		5	6	4,233E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	54	547,184
		2	38	547,178
		3	61	547,177
		4	37	547,175
		5	46	547,175
	Menor	1	73	547,137
		2	79	547,138
		3	67	547,139
		4	71	547,140
		5	77	547,141 ^d

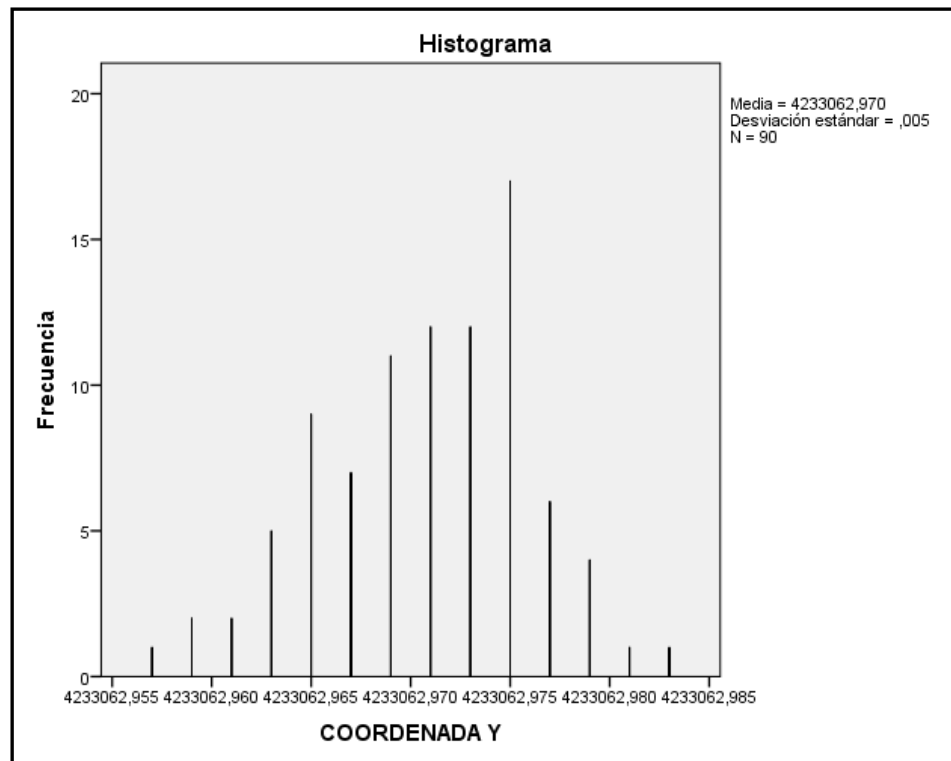
COORDENADA X



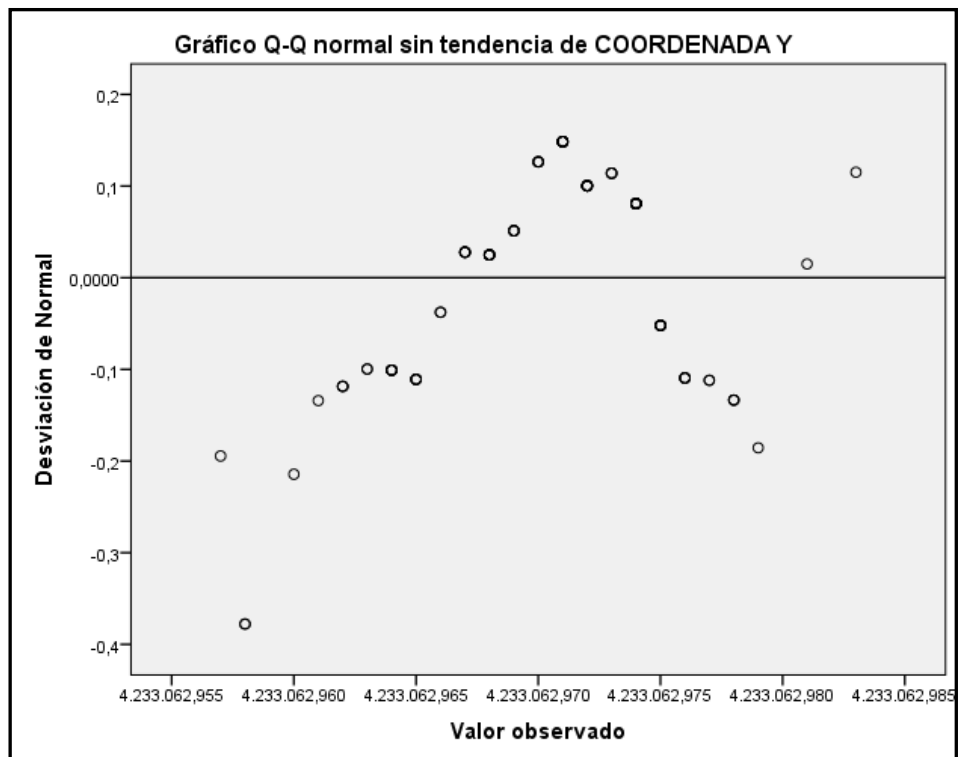
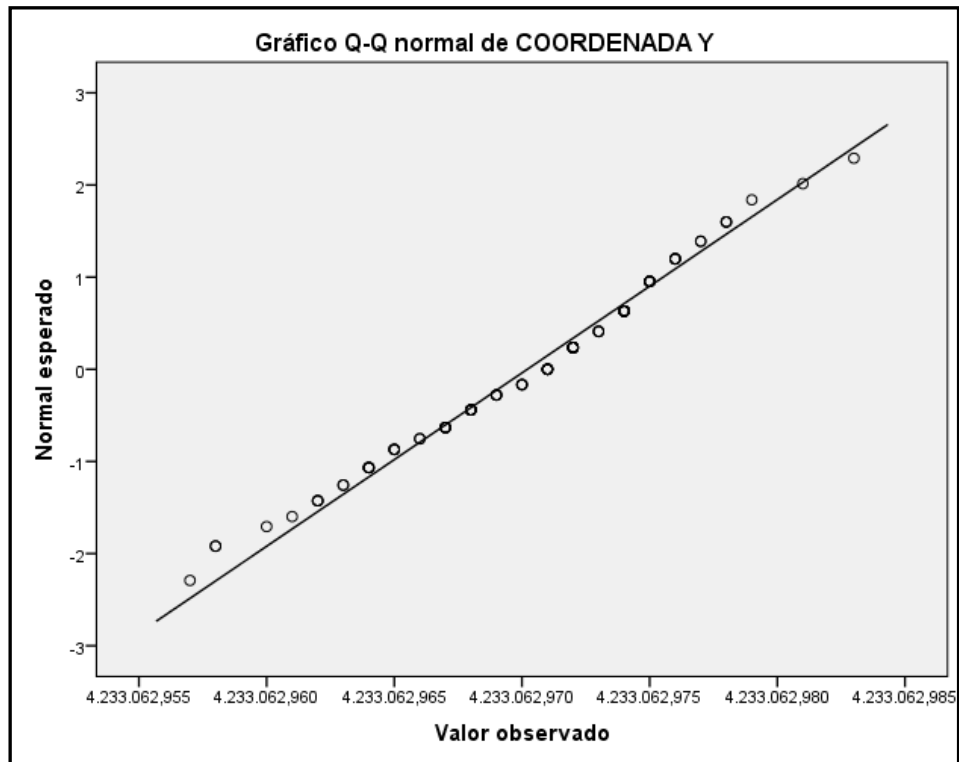
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



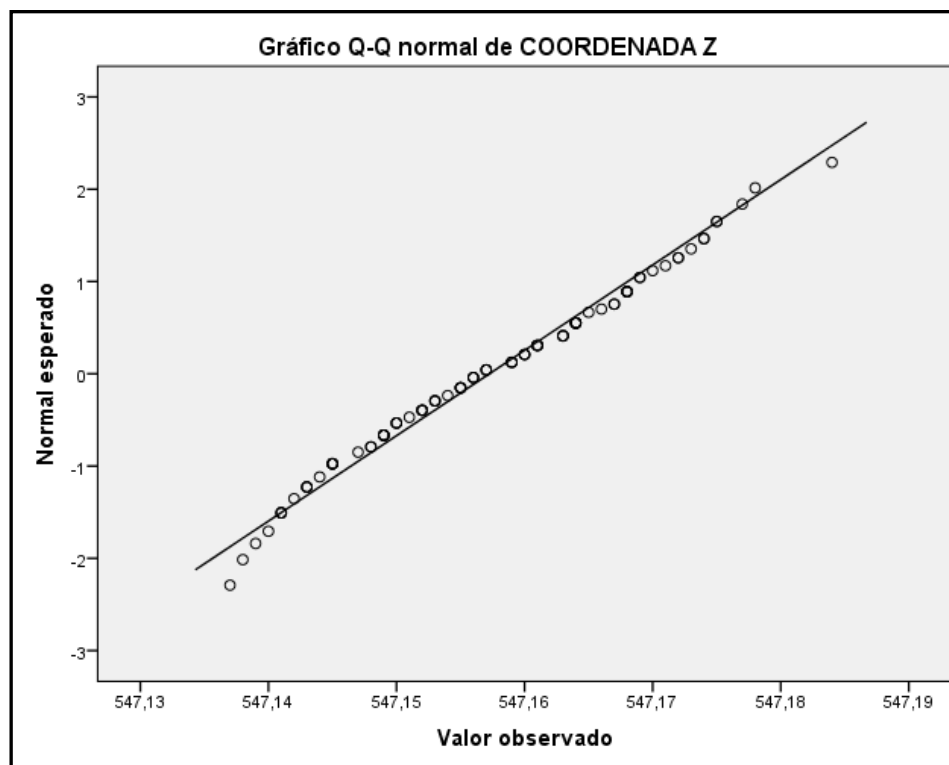
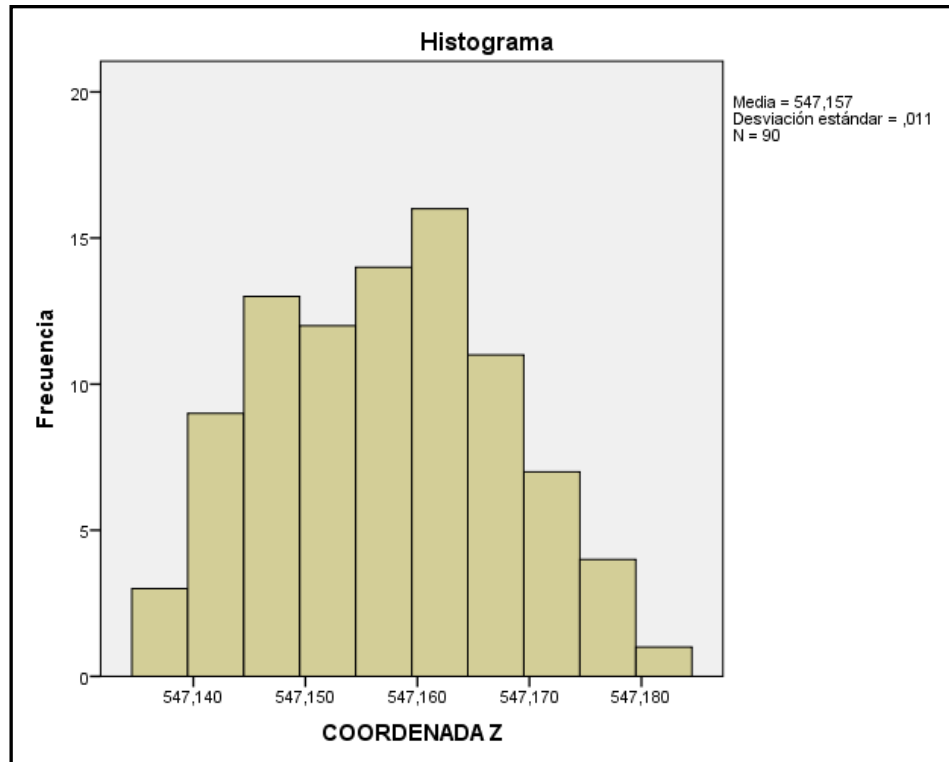
COORDENADA Y



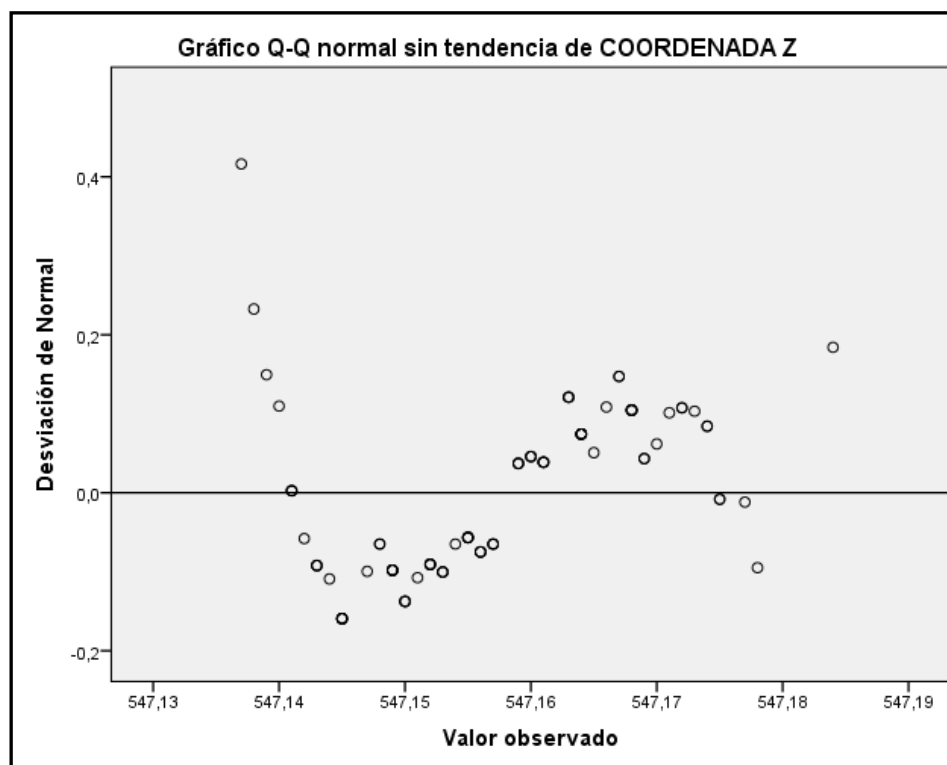
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.2.6.- NIVEL 6

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\POZOBLANCO\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL 6.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 6	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

DESCRIPTIVOS

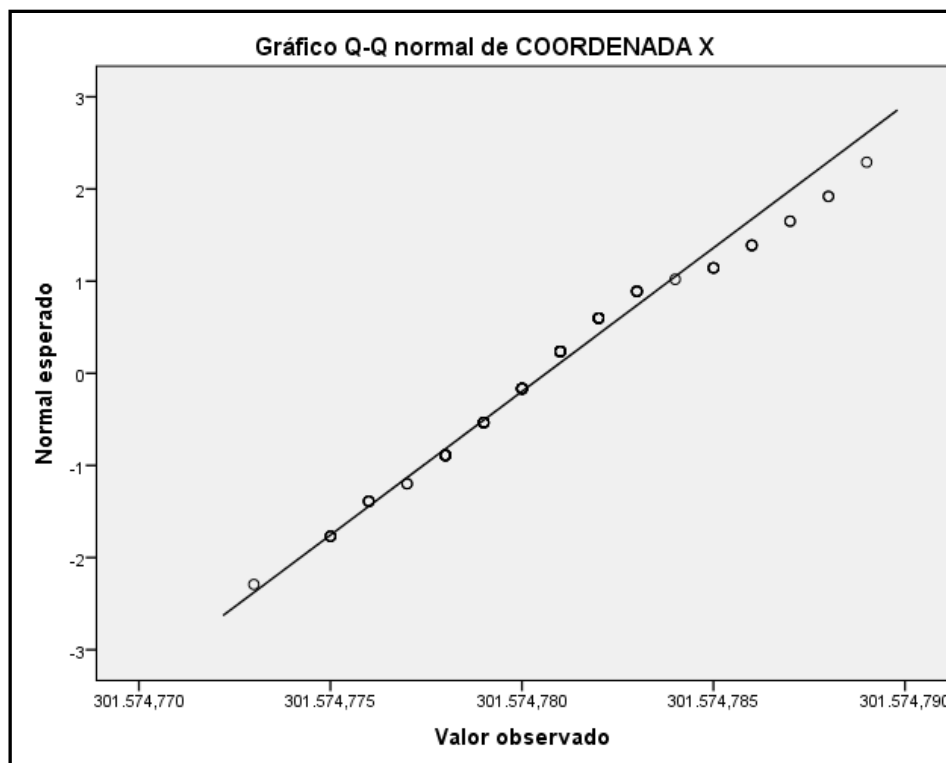
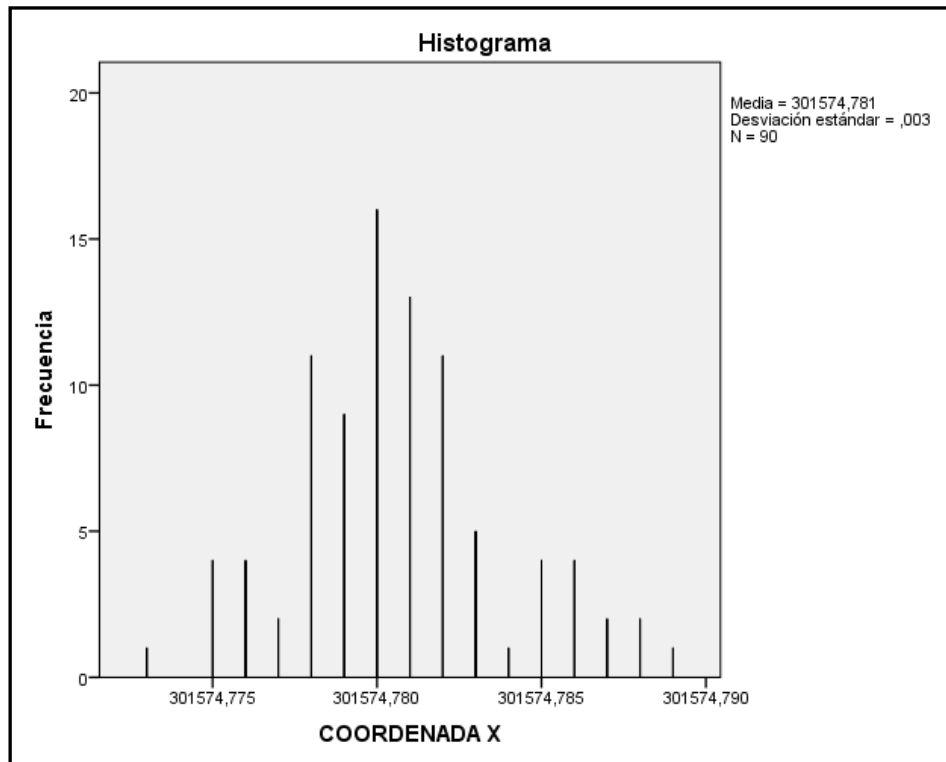
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301574,78063	,000338
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	301574,77996 301574,78131
	Media recortada al 5%	301574,78057	
	Mediana	301574,78000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003210	
	Mínimo	301574,773	
	Máximo	301574,789	
	Rango	,016	
	Rango intercuartil	,003	
	Asimetría	,378	,254
	Curtosis	,224	,503
COORDENADA Y	Media	4233077,31213	,000568
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4233077,31101 4233077,31326
	Media recortada al 5%	4233077,31219	
	Mediana	4233077,31250	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005385	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,025	
	Rango intercuartil	,009	
	Asimetría	-,112	,254
	Curtosis	-,654	,503
COORDENADA Z	Media	547,36137	,000979
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	547,35942 547,36331
	Media recortada al 5%	547,36104	
	Mediana	547,36100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,009290	
	Mínimo	547,340	
	Máximo	547,391	
	Rango	,051	
	Rango intercuartil	,012	
	Asimetría	,492	,254
	Curtosis	,530	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

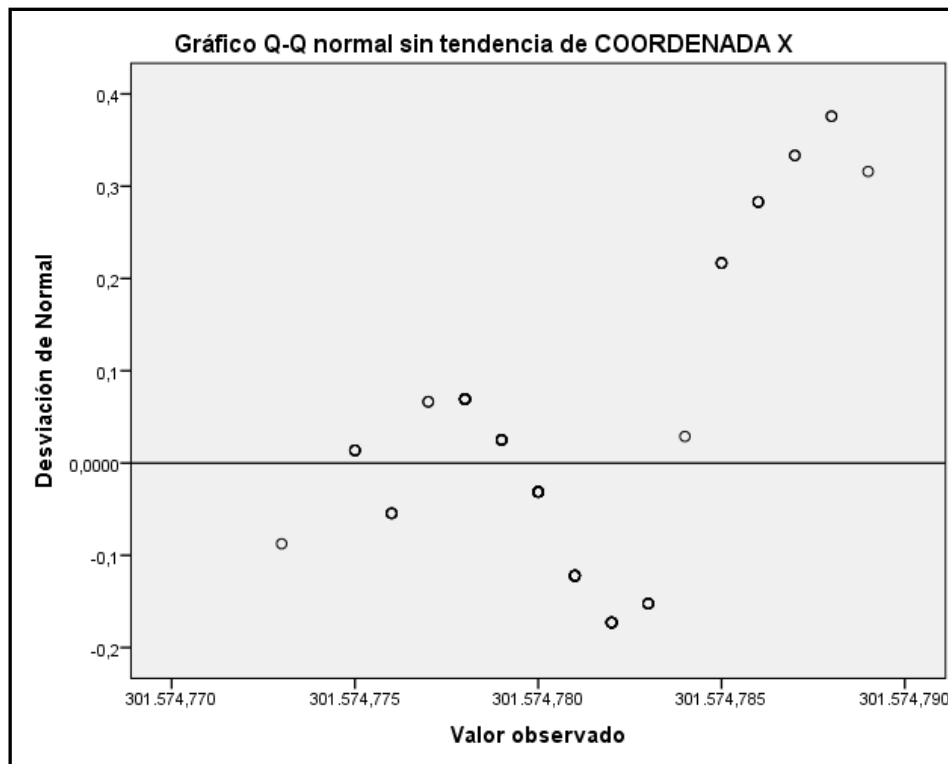
VALORES EXTREMOS

Valores extremos			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	10	301574,789
		2	4	301574,788
		3	8	301574,788
		4	12	301574,787
		5	72	301574,787
	Menor	1	74	301574,773
		2	61	301574,775
		3	60	301574,775
		4	58	301574,775
		5	56	301574,775
COORDENADA Y	Mayor	1	83	4,233E+06
		2	29	4,233E+06
		3	30	4,233E+06
		4	34	4,233E+06
		5	82	4,233E+06
	Menor	1	45	4,233E+06
		2	11	4,233E+06
		3	70	4,233E+06
		4	40	4,233E+06
		5	68	4,233E+6 ^a
COORDENADA Z	Mayor	1	45	547,391
		2	49	547,388
		3	44	547,378
		4	51	547,377
		5	43	547,376 ^b
	Menor	1	2	547,340
		2	7	547,347
		3	57	547,348
		4	21	547,348
		5	5	547,348 ^c

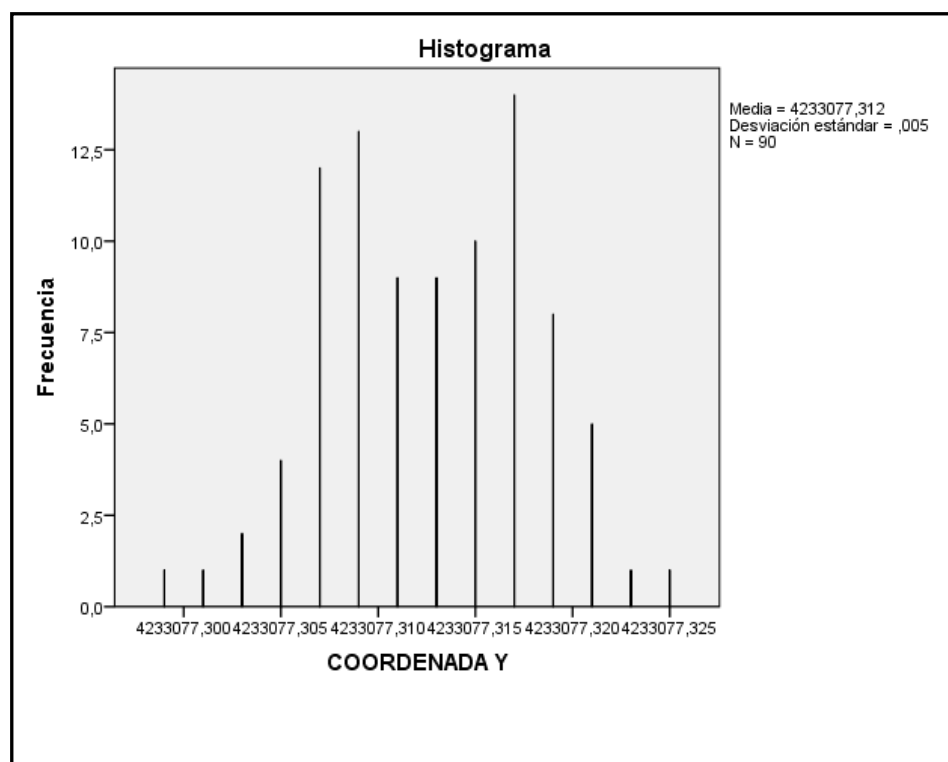
COORDENADA X



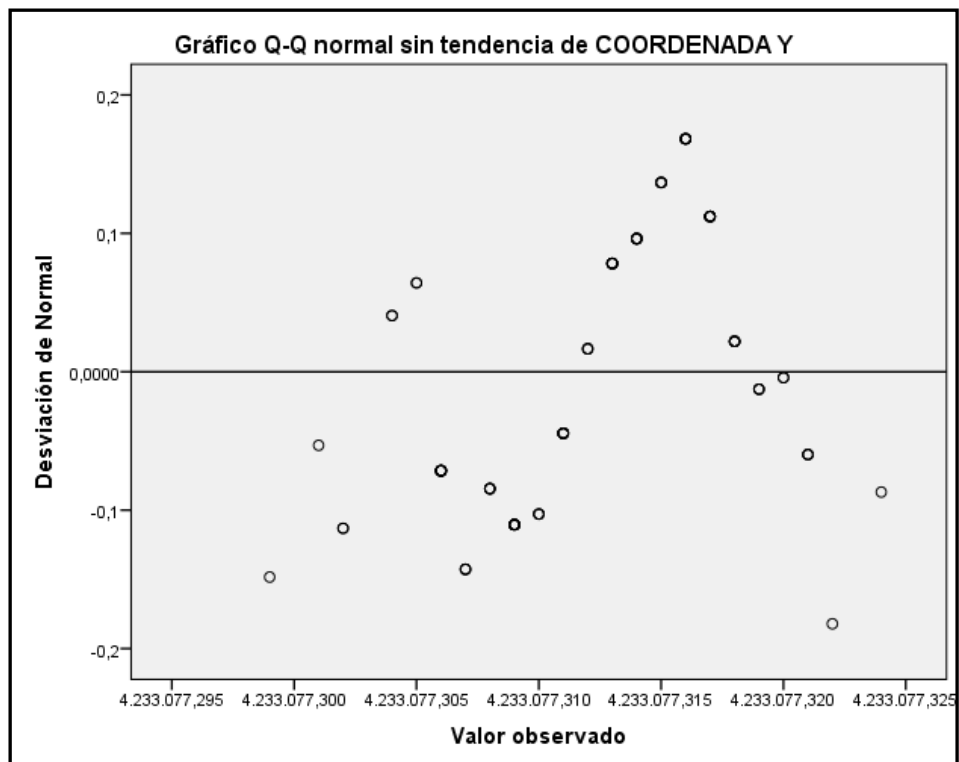
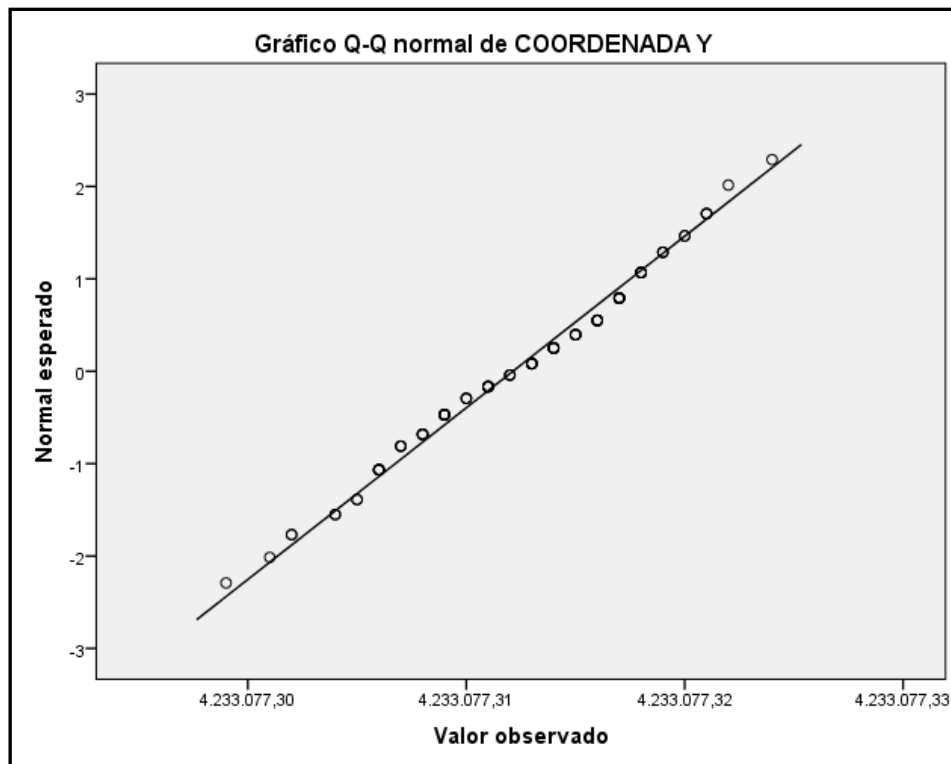
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Y

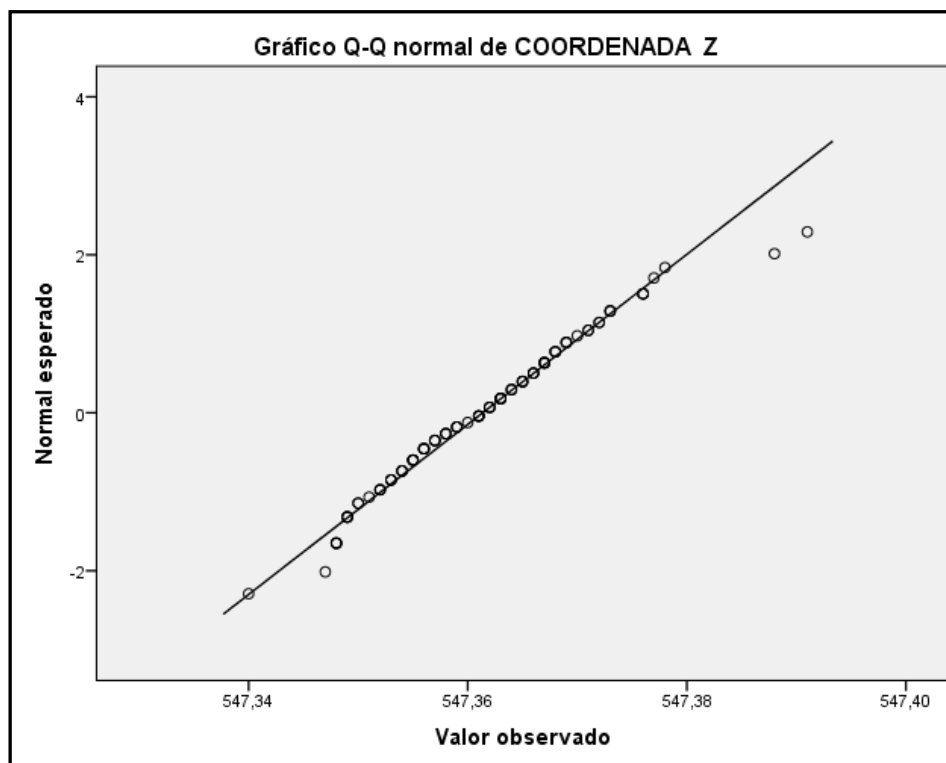
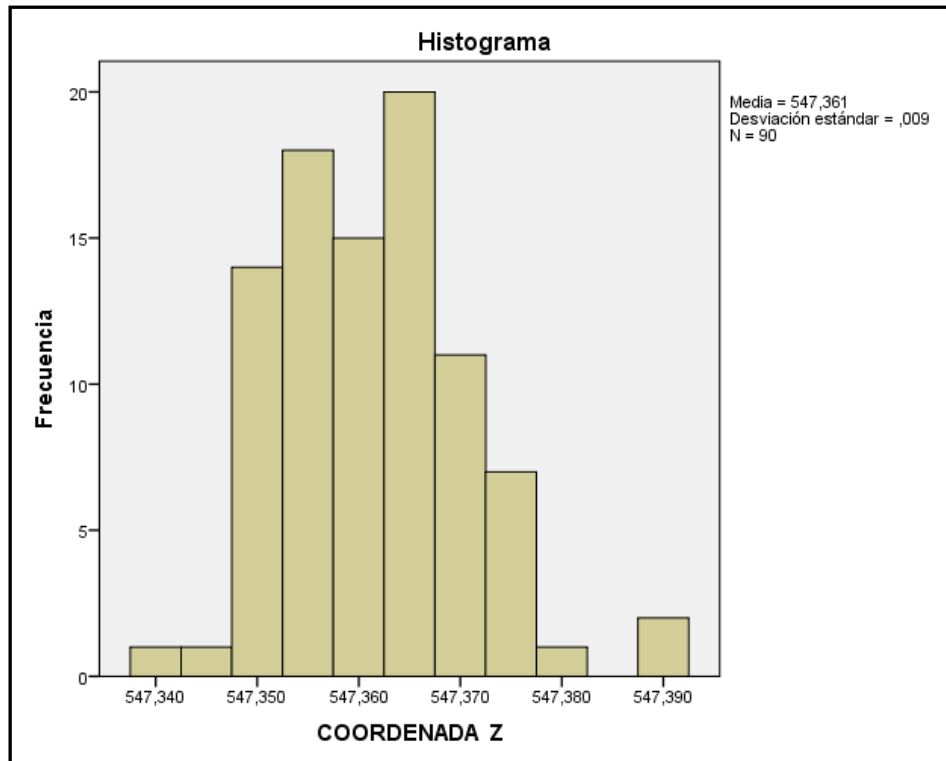


**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

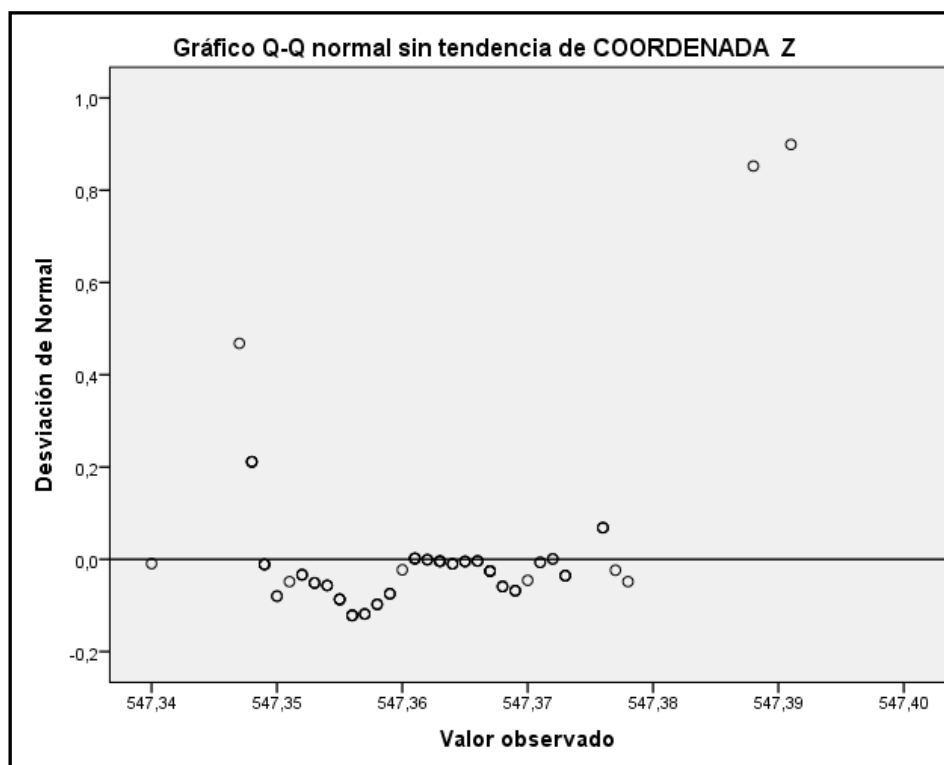


**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.3.- TOMA DESDE LA ESTACIÓN DE REFERENCIA, CÓRDOBA

1.3.1.- NIVEL 1

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CORDOBA\ANALISIS DE DATOS\NIVEL1.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 1	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

DESCRIPTIVOS

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
CORRDENADA X	Media	308700,27080	,000265
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 308700,27027 Límite superior 308700,27133	
	Media recortada al 5%	308700,27071	
	Mediana	308700,27100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,002509	
	Mínimo	308700,266	
	Máximo	308700,278	
	Rango	,012	
	Rango intercuartil	,003	
	Asimetría	,463	,254
	Curtosis	,131	,503
COORDENADA Y	Media	4240638,58063	,000423
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 4240638,57979 Límite superior 4240638,58147	
	Media recortada al 5%	4240638,58070	
	Mediana	4240638,58100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004015	
	Mínimo	4,241E+06	
	Máximo	4,241E+06	
	Rango	,031	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	-,213	,254
	Curtosis	3,778	,503
COORDENADA Z	Media	566,05104	,001352
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 566,04836 Límite superior 566,05373	
	Media recortada al 5%	566,05080	
	Mediana	566,05200	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,012830	
	Mínimo	566,026	
	Máximo	566,085	
	Rango	,059	
	Rango intercuartil	,019	
	Asimetría	,135	,254
	Curtosis	-,248	,503

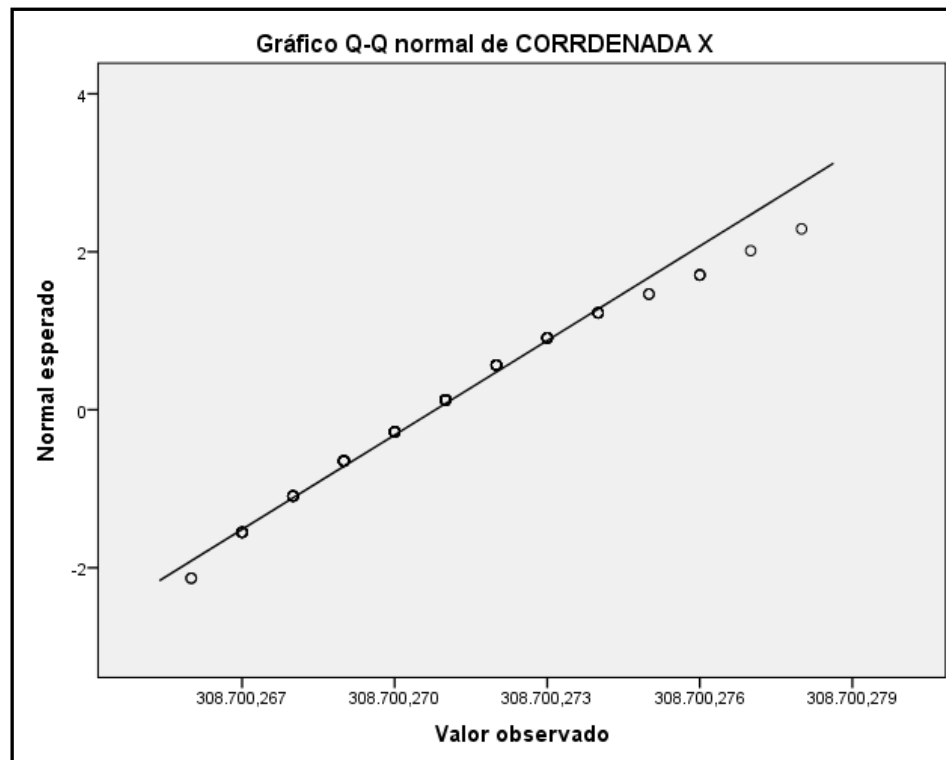
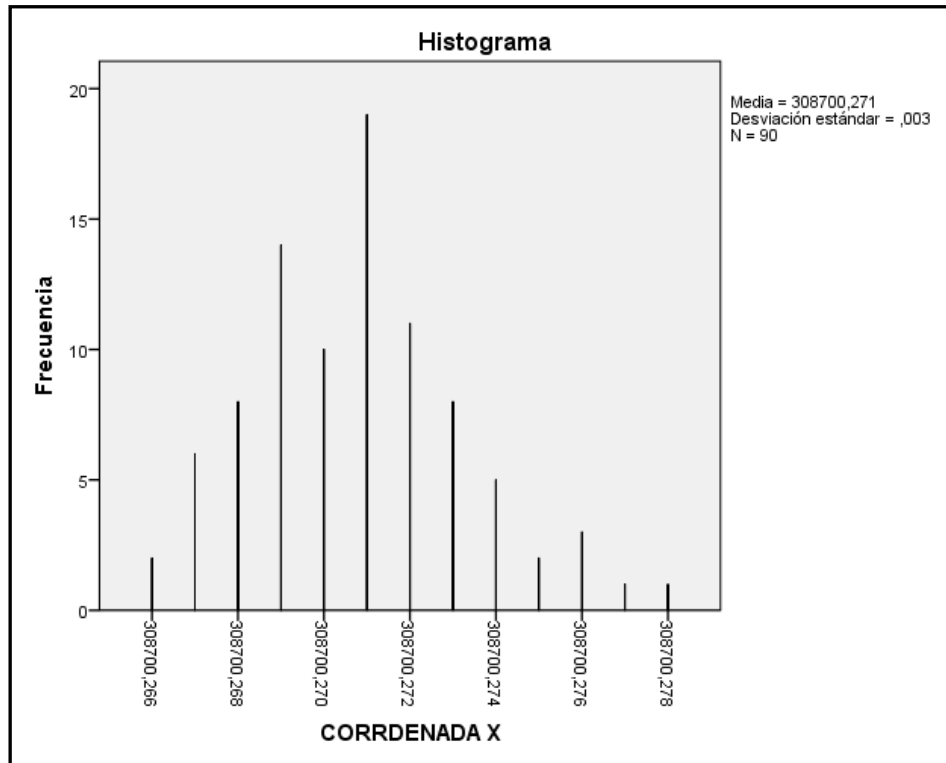
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

VALORES EXTREMOS

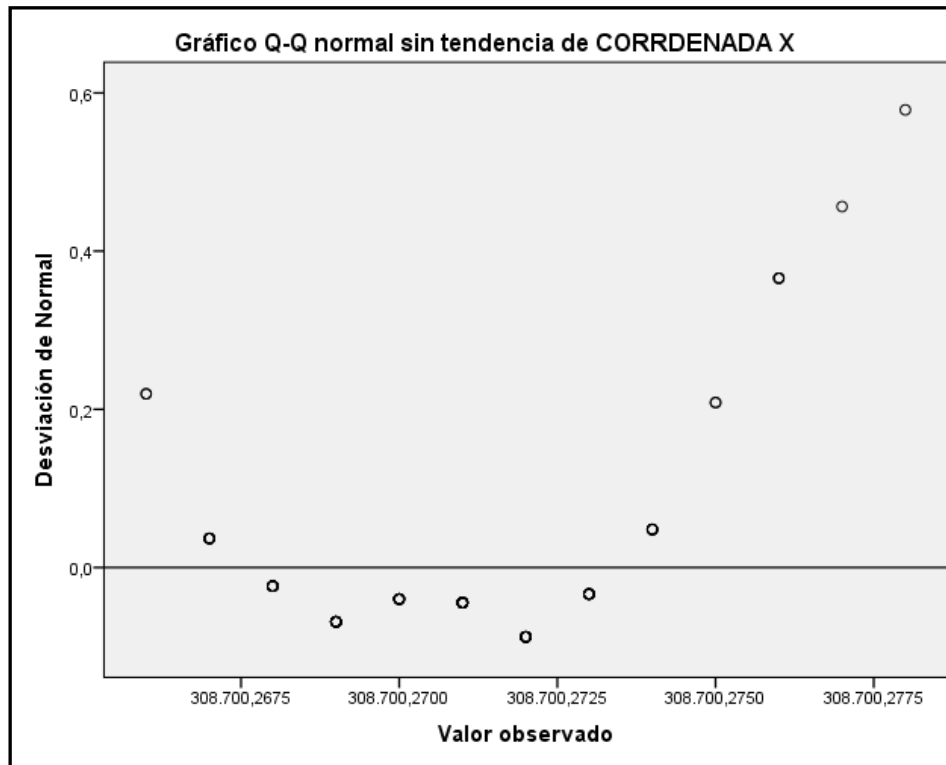
Valores extremos				
			Número del caso	Valor
CORRDENADA X	Mayor	1	77	308700,278
		2	75	308700,277
		3	73	308700,276
		4	74	308700,276
		5	78	308700,276
	Menor	1	54	308700,266
		2	9	308700,266
		3	66	308700,267
		4	52	308700,267
		5	38	308700,267 ^a
COORDENADA Y	Mayor	1	37	4,241E+06
		2	58	4,241E+06
		3	73	4,241E+06
		4	85	4,241E+06
		5	35	4,241E+6 ^b
	Menor	1	36	4,241E+06
		2	42	4,241E+06
		3	77	4,241E+06
		4	43	4,241E+06
		5	44	4,241E+6 ^c
COORDENADA Z	Mayor	1	35	566,085
		2	48	566,082
		3	5	566,075
		4	29	566,075
		5	85	566,073
	Menor	1	77	566,026
		2	76	566,028
		3	43	566,028
		4	23	566,029
		5	46	566,030 ^d

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

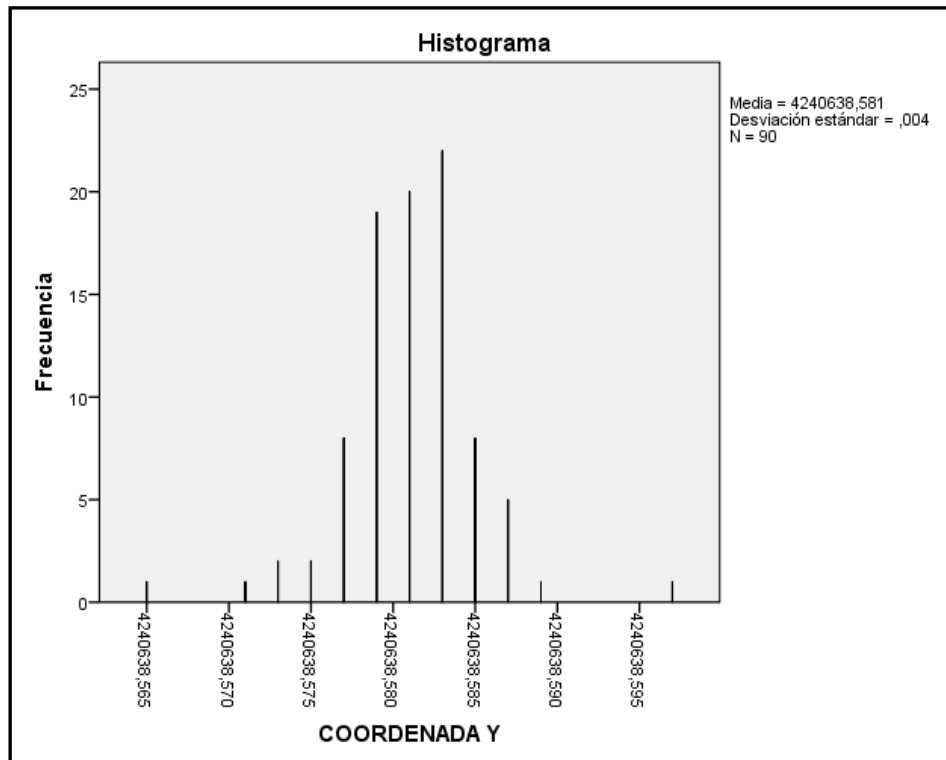
COORDENADA X



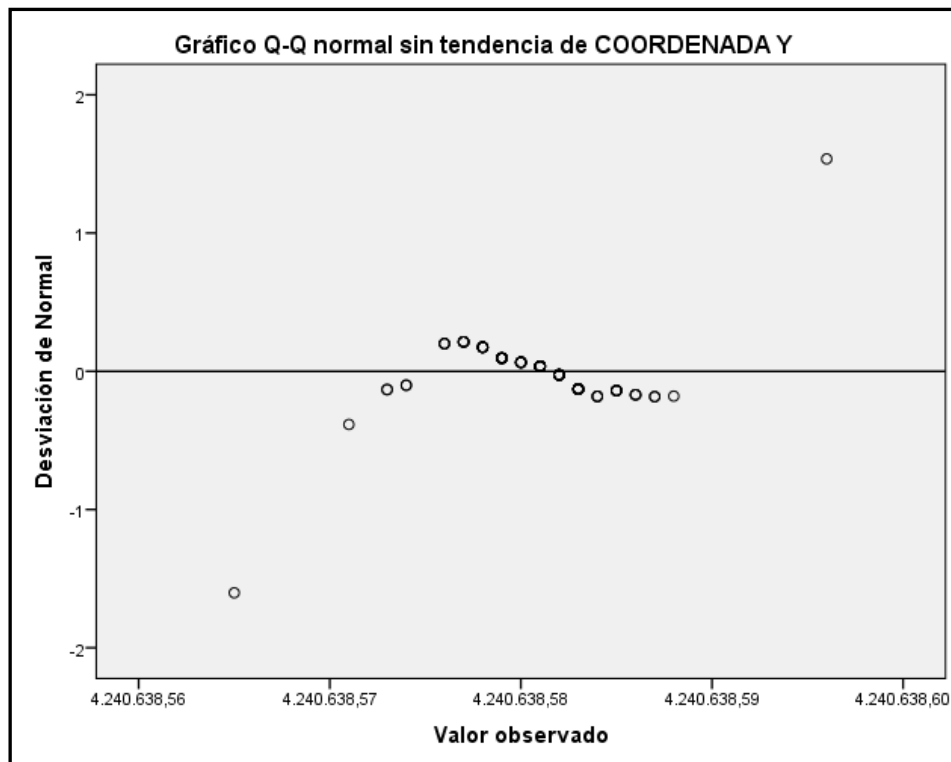
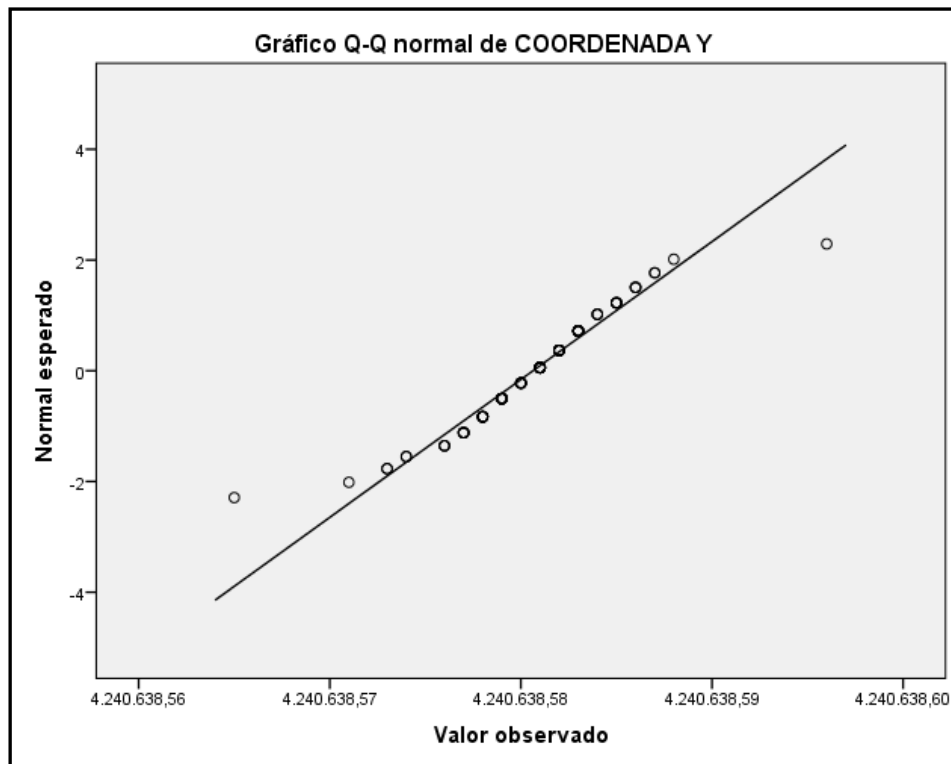
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



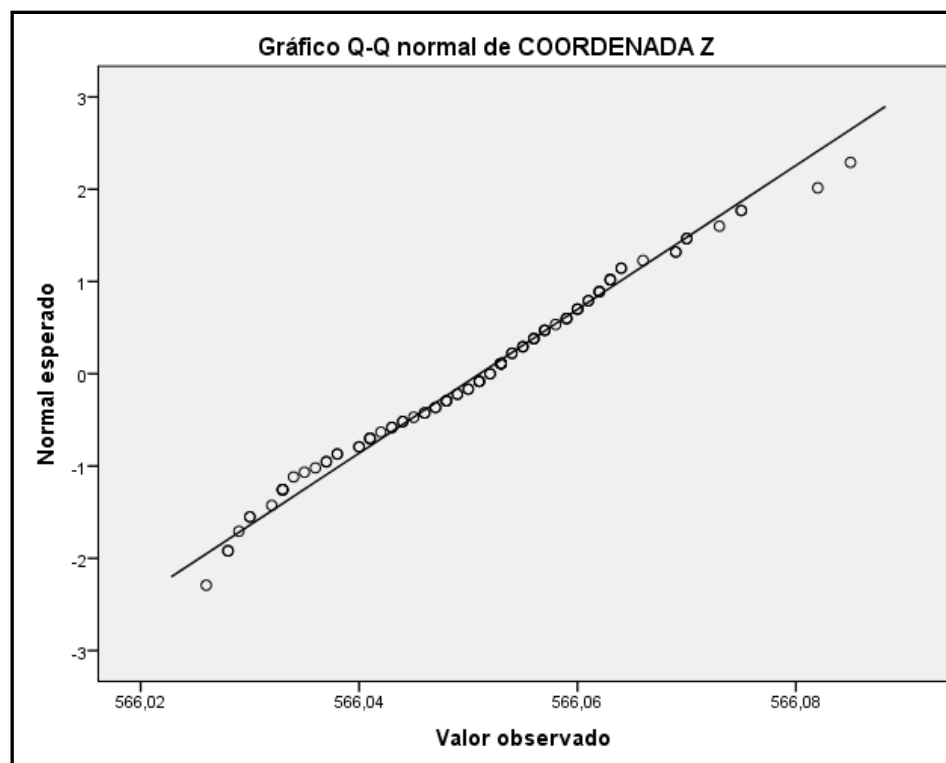
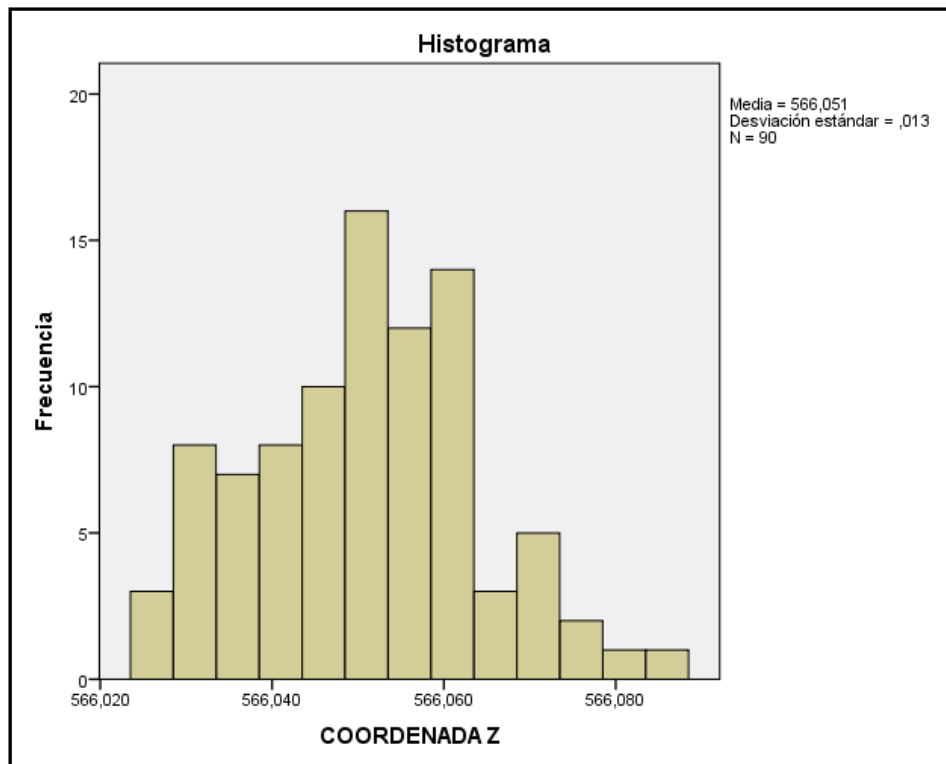
COORDENADA Y



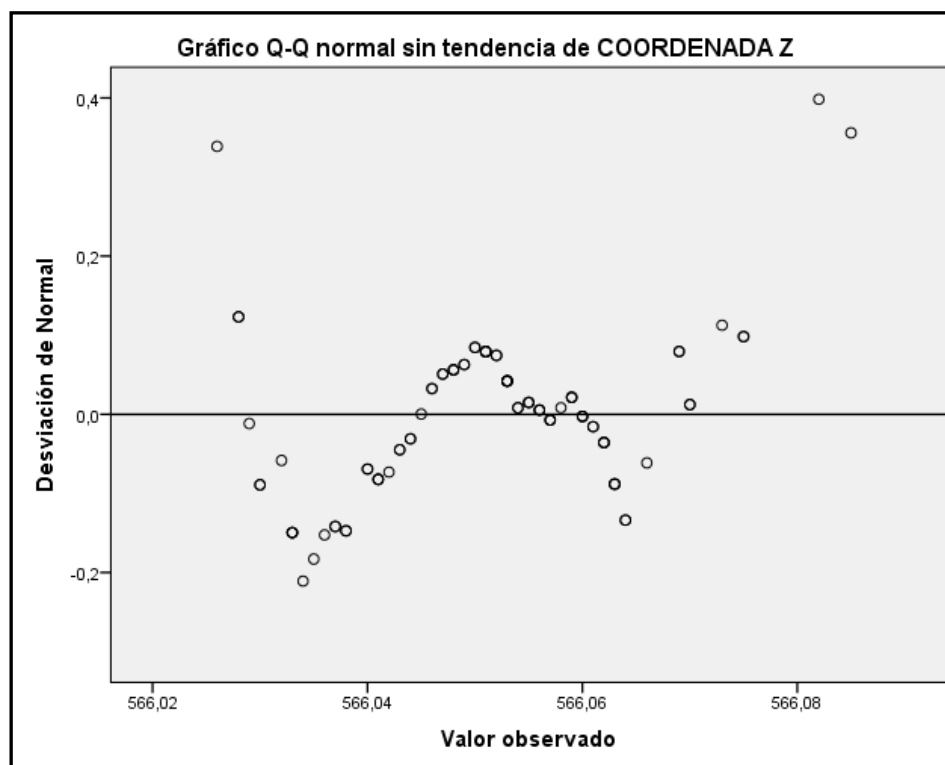
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.3.2.- NIVEL 2

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CORDOBA\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL2.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 2	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

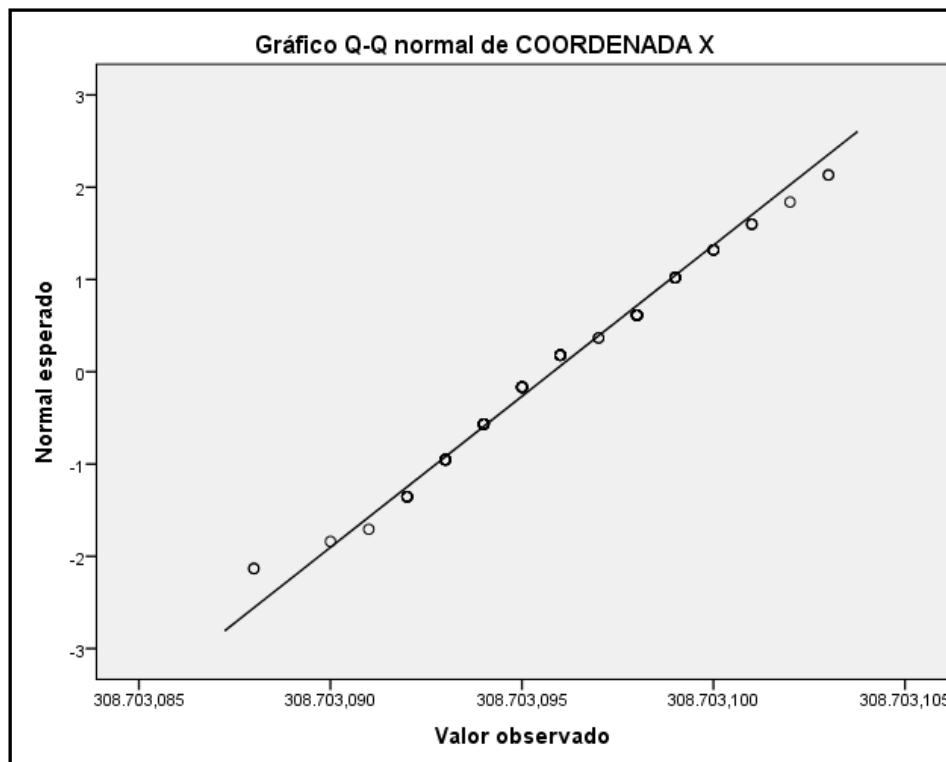
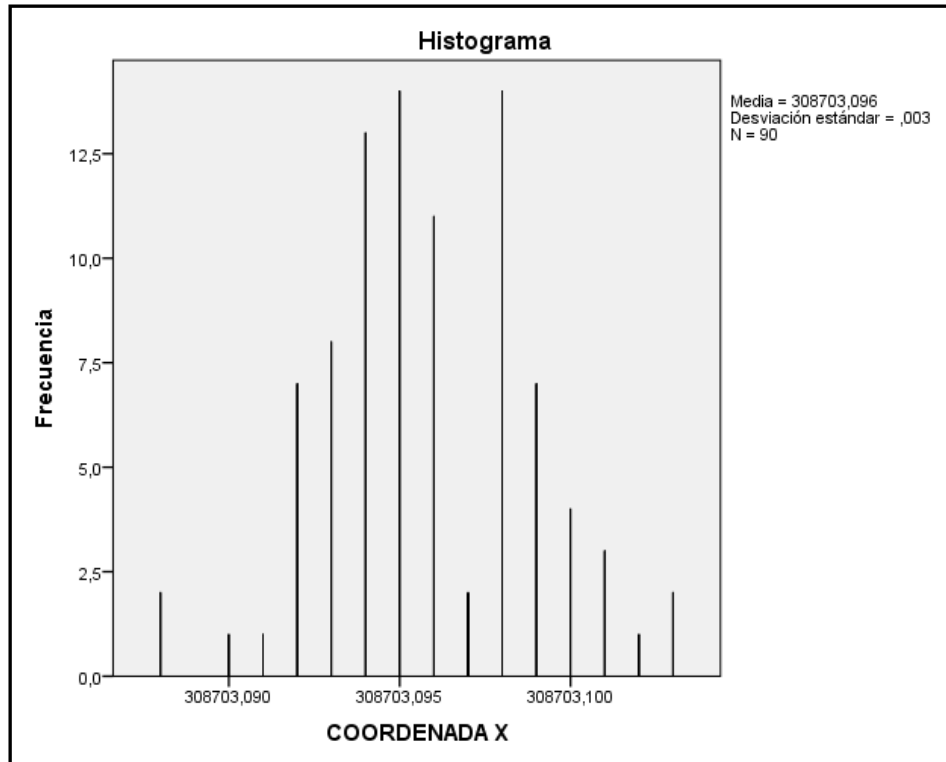
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
CORRDENADA X	Media	308700,27080	,000265
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 308700,27027 Límite superior 308700,27133	
	Media recortada al 5%	308700,27071	
	Mediana	308700,27100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,002509	
	Mínimo	308700,266	
	Máximo	308700,278	
	Rango	,012	
	Rango intercuartil	,003	
	Asimetría	,463	,254
	Curtosis	,131	,503
COORDENADA Y	Media	4240638,58063	,000423
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 4240638,57979 Límite superior 4240638,58147	
	Media recortada al 5%	4240638,58070	
	Mediana	4240638,58100	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004015	
	Mínimo	4,241E+06	
	Máximo	4,241E+06	
	Rango	,031	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	-,213	,254
	Curtosis	3,778	,503
COORDENADA Z	Media	566,05104	,001352
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior 566,04836 Límite superior 566,05373	
	Media recortada al 5%	566,05080	
	Mediana	566,05200	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,012830	
	Mínimo	566,026	
	Máximo	566,085	
	Rango	,059	
	Rango intercuartil	,019	
	Asimetría	,135	,254
	Curtosis	-,248	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

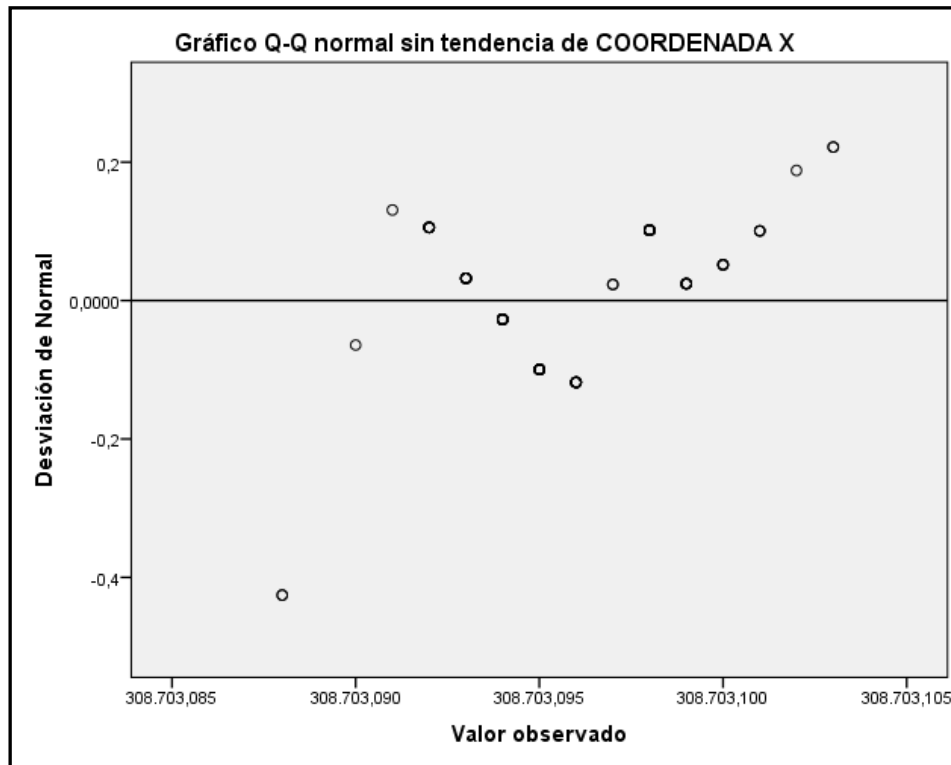
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
CORRDENADA X	Mayor	1	77	308700,278
		2	75	308700,277
		3	73	308700,276
		4	74	308700,276
		5	78	308700,276
	Menor	1	54	308700,266
		2	9	308700,266
		3	66	308700,267
		4	52	308700,267
		5	38	308700,267 ^a
COORDENADA Y	Mayor	1	37	4,241E+06
		2	58	4,241E+06
		3	73	4,241E+06
		4	85	4,241E+06
		5	35	4,241E+6 ^b
	Menor	1	36	4,241E+06
		2	42	4,241E+06
		3	77	4,241E+06
		4	43	4,241E+06
		5	44	4,241E+6 ^c
COORDENADA Z	Mayor	1	35	566,085
		2	48	566,082
		3	5	566,075
		4	29	566,075
		5	85	566,073
	Menor	1	77	566,026
		2	76	566,028
		3	43	566,028
		4	23	566,029
		5	46	566,030 ^d

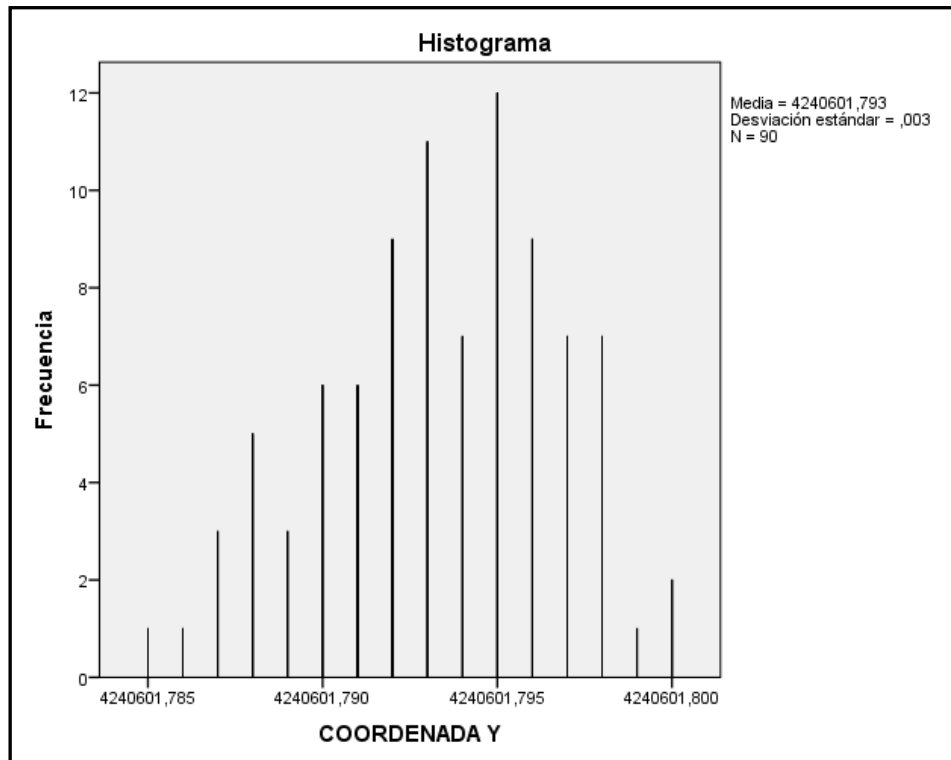
COORDENADA X



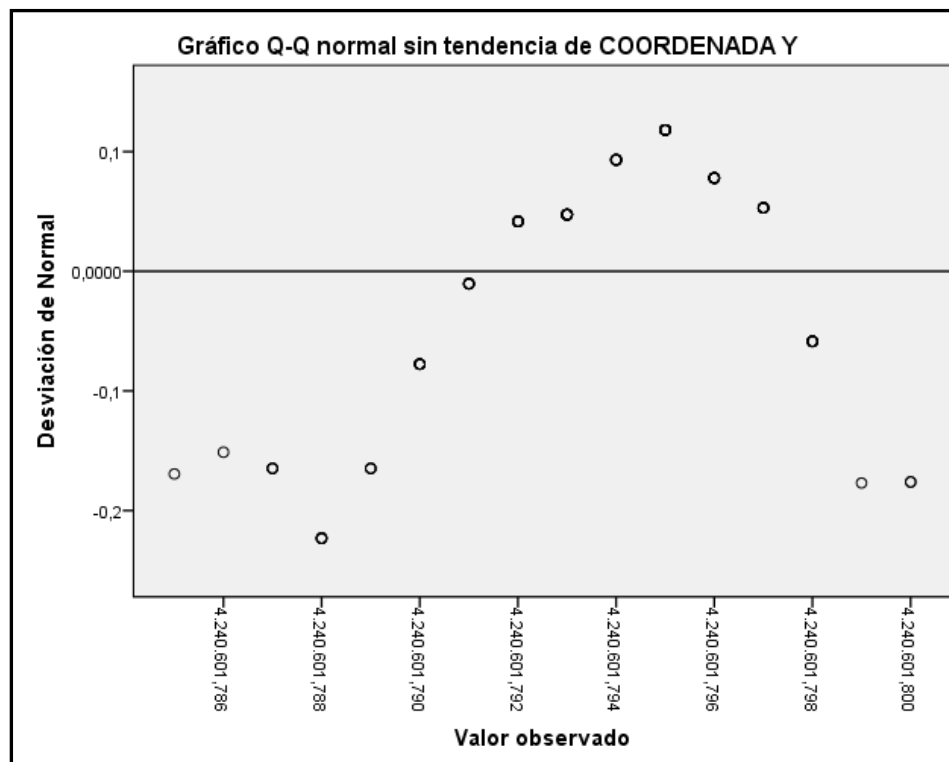
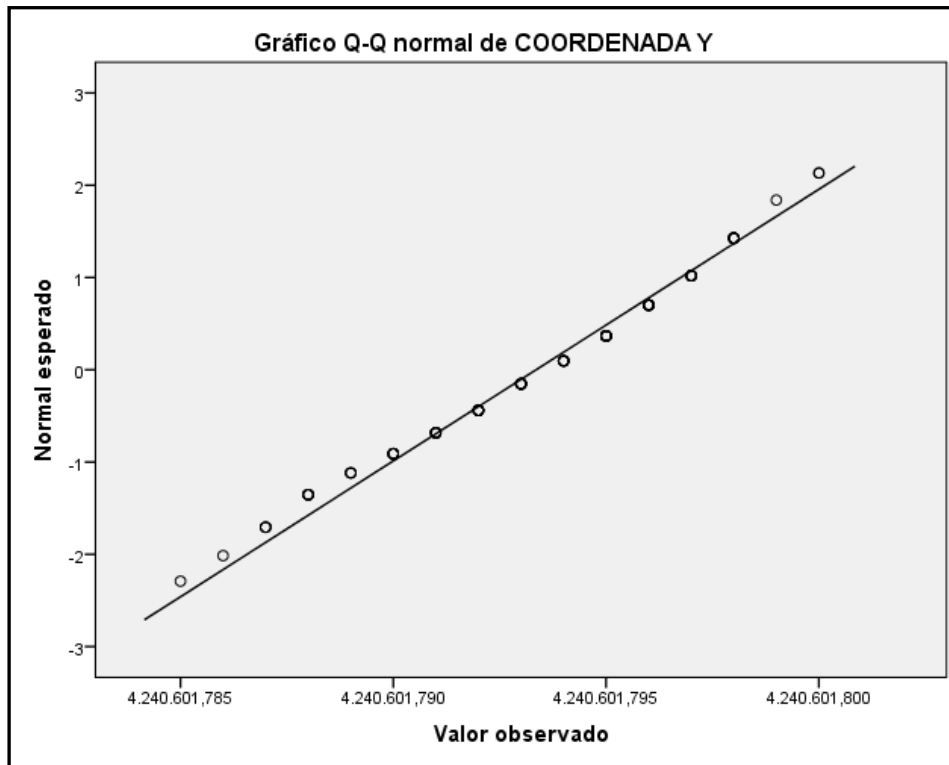
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**



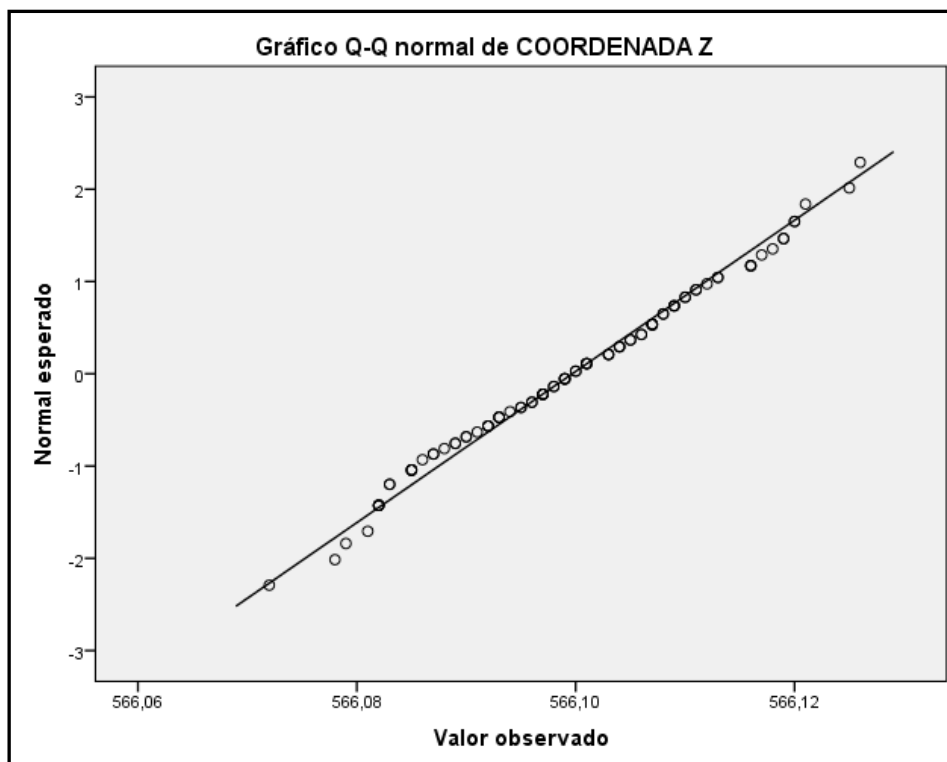
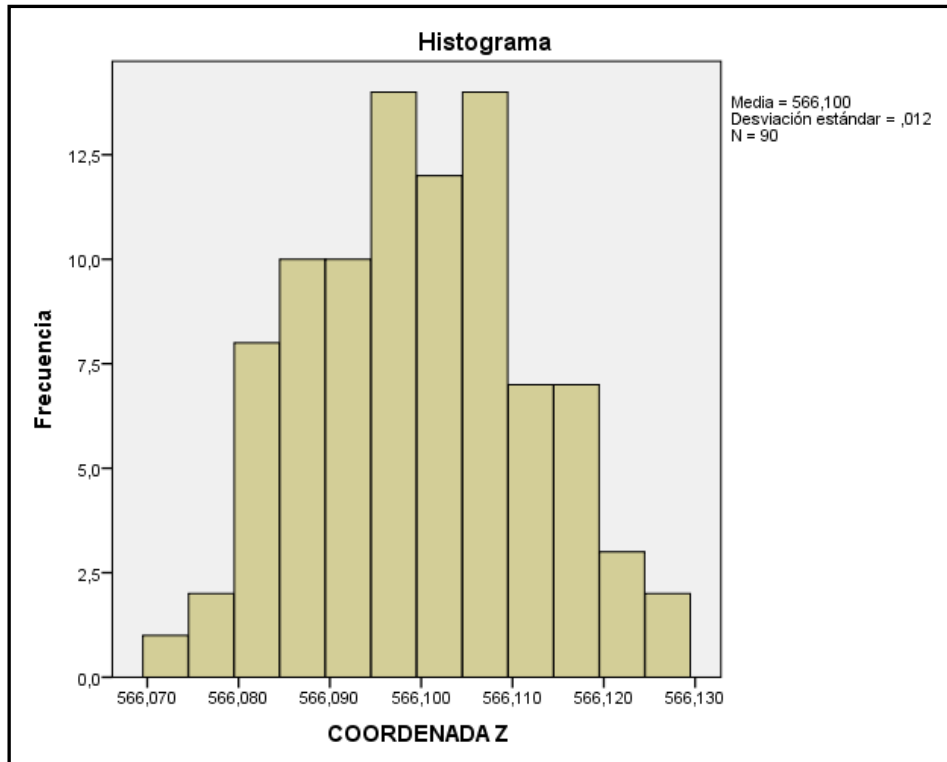
COORDENADA Y



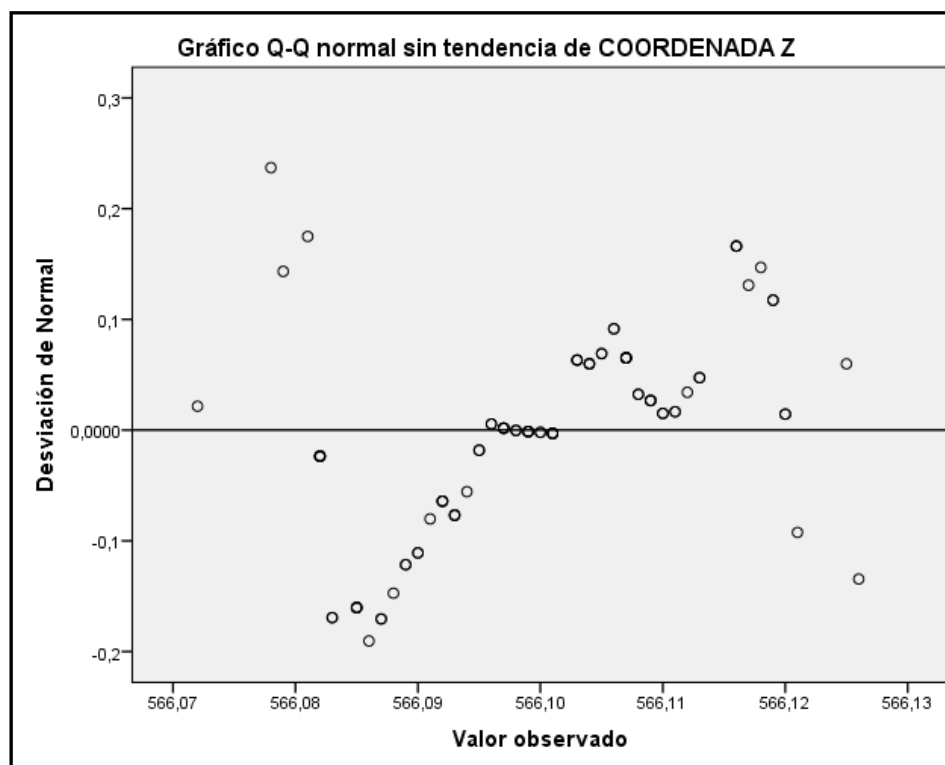
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.3.3.- NIVEL 3

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CORDOBA\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL3.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 3	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

DESCRIPTIVOS

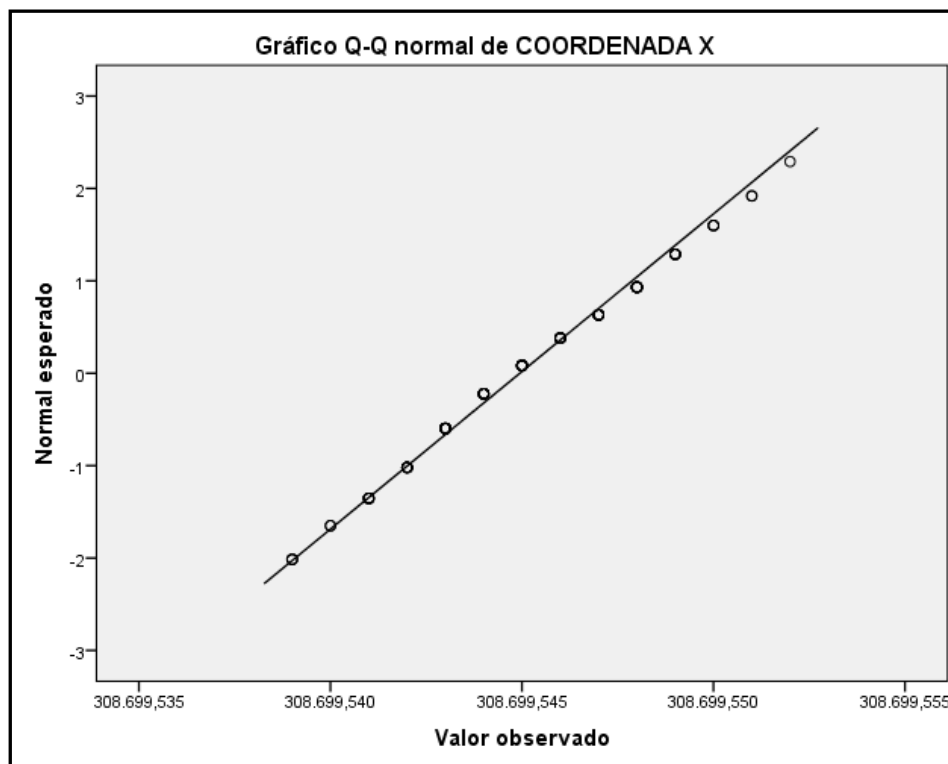
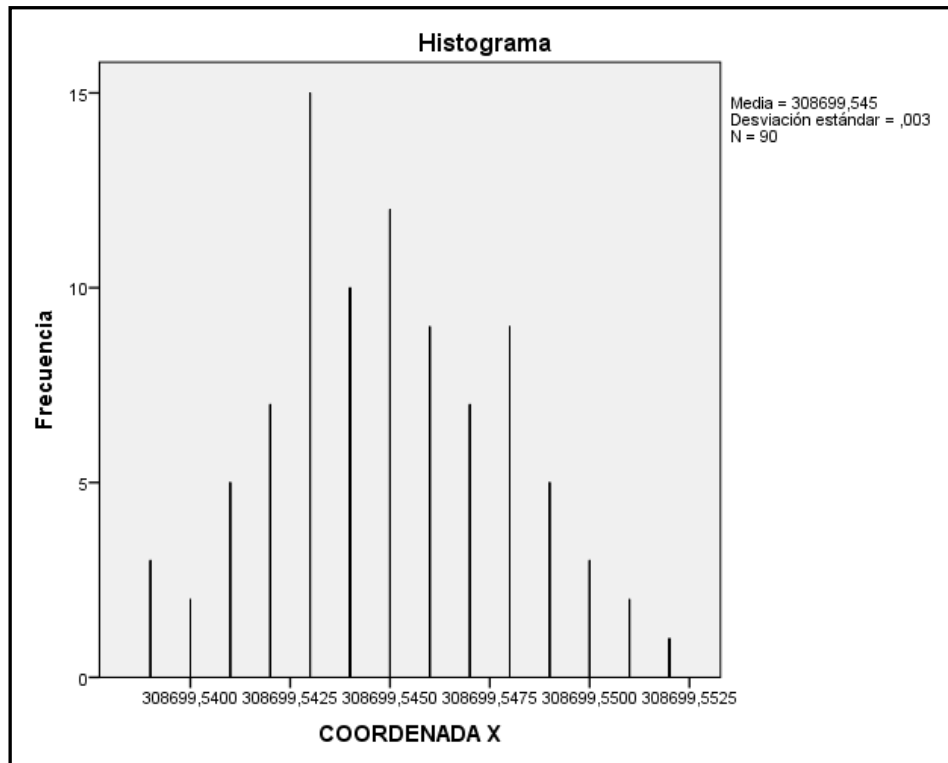
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	308699,54494	,000309
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	
		308699,54433 308699,54556	
	Media recortada al 5%	308699,54493	
	Mediana	308699,54500	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,002931	
	Mínimo	308699,539	
	Máximo	308699,552	
	Rango	,013	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	,168	,254
	Curtosis	-,450	,503
COORDENADA Y	Media	4240577,13269	,000602
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	
		4240577,13149 4240577,13388	
	Media recortada al 5%	4240577,13248	
	Mediana	4240577,13300	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,005710	
	Mínimo	4,241E+06	
	Máximo	4,241E+06	
	Rango	,023	
	Rango intercuartil	,009	
	Asimetría	,352	,254
	Curtosis	-,534	,503
COORDENADA Z	Media	565,96773	,002430
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	
		565,96291 565,97256	
	Media recortada al 5%	565,96757	
	Mediana	565,95950	
	Varianza	,001	
	Desviación estándar	,023049	
	Mínimo	565,924	
	Máximo	566,010	
	Rango	,086	
	Rango intercuartil	,043	
	Asimetría	,216	,254
	Curtosis	-1,331	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

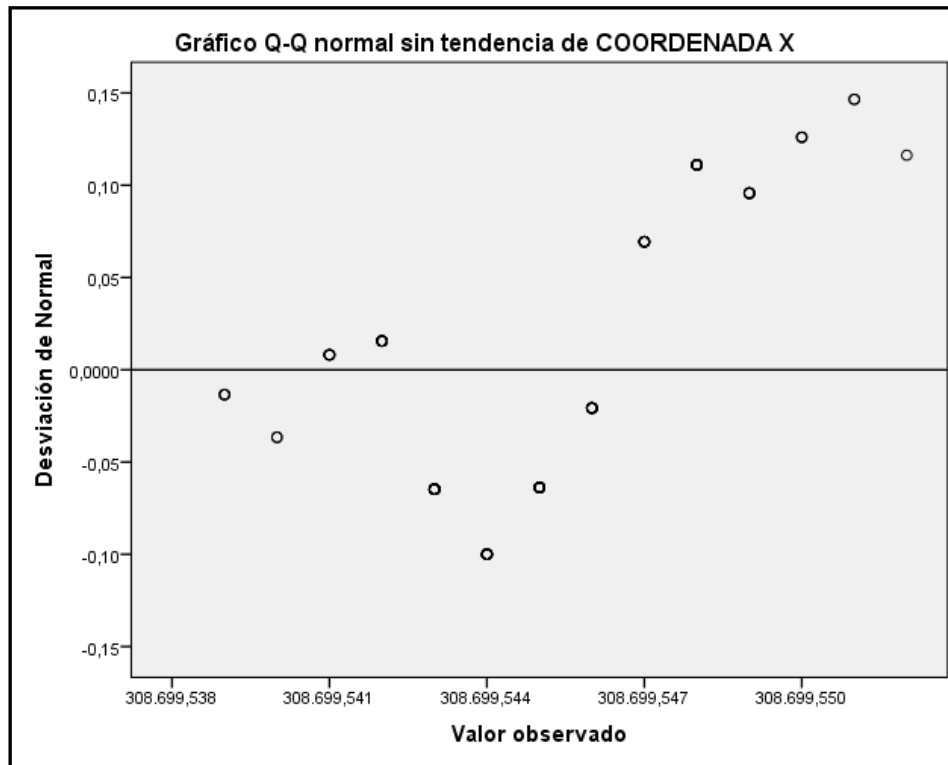
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	46	308699,552
		2	38	308699,551
		3	40	308699,551
		4	6	308699,550
		5	39	308699,550 ^a
	Menor	1	87	308699,539
		2	50	308699,539
		3	14	308699,539
		4	29	308699,540
		5	28	308699,540
COORDENADA Y	Mayor	1	80	4,241E+06
		2	77	4,241E+06
		3	79	4,241E+06
		4	81	4,241E+06
		5	86	4,241E+6 ^b
	Menor	1	32	4,241E+06
		2	27	4,241E+06
		3	25	4,241E+06
		4	24	4,241E+06
		5	21	4,241E+6 ^c
COORDENADA Z	Mayor	1	68	566,010
		2	70	566,008
		3	87	566,006
		4	67	566,005
		5	90	566,004
	Menor	1	61	565,924
		2	56	565,933
		3	60	565,934
		4	54	565,934
		5	50	565,934

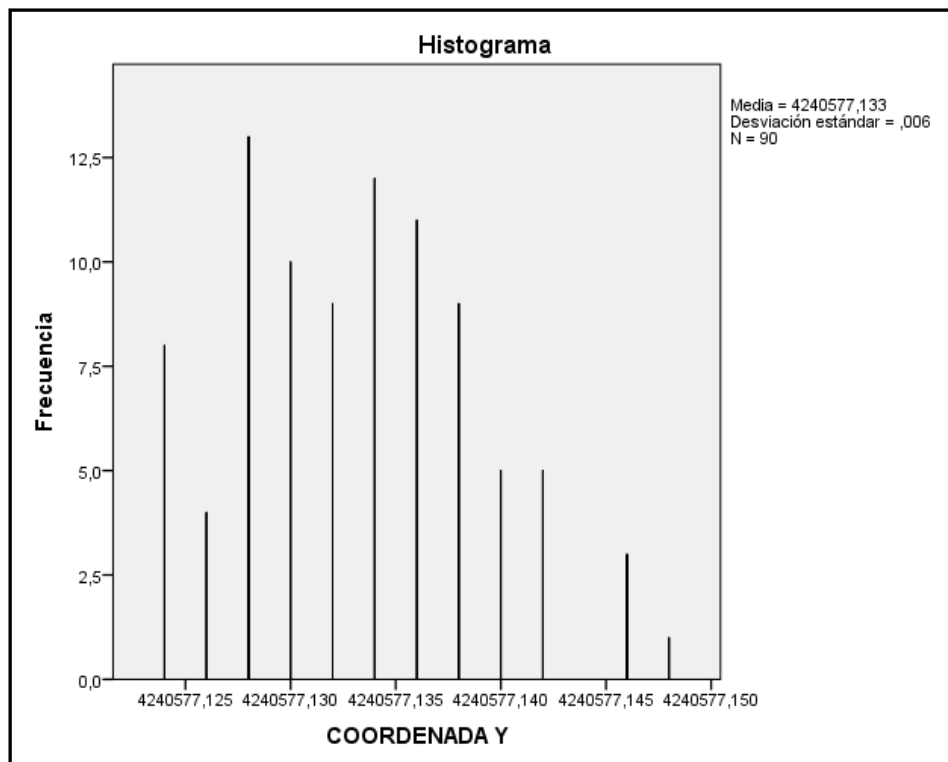
COORDENADA X



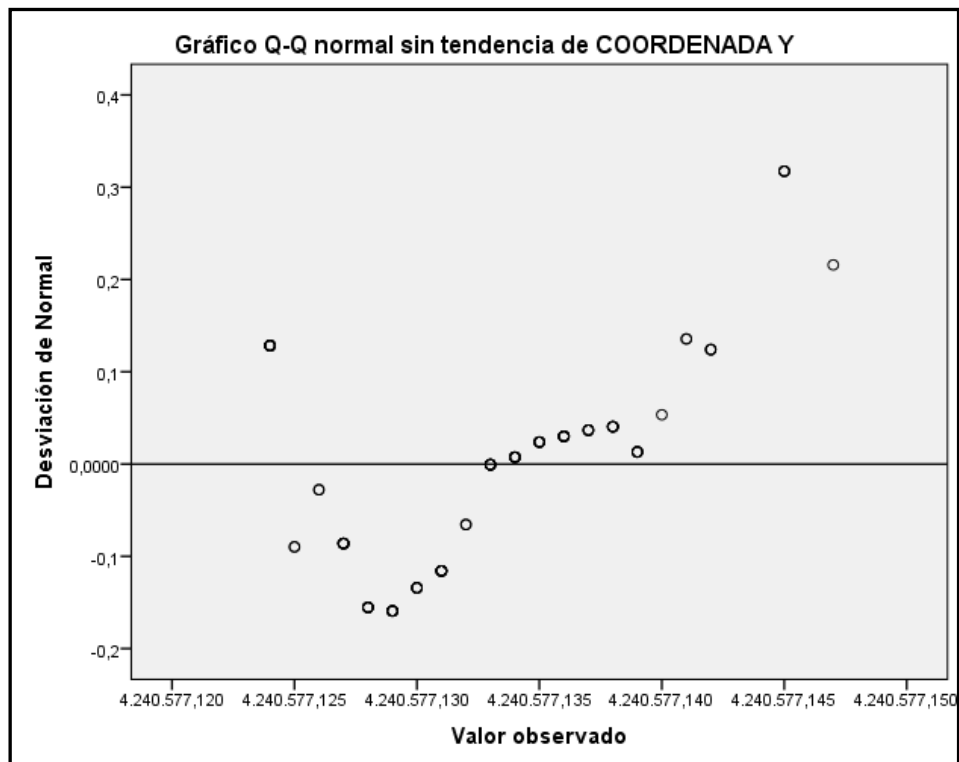
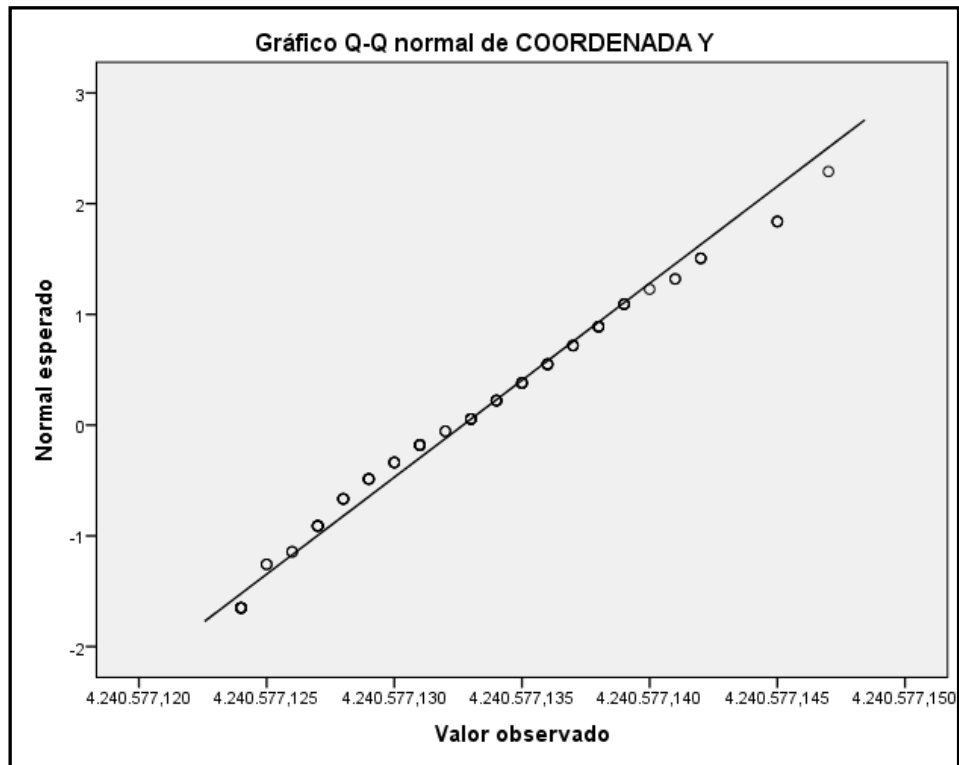
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



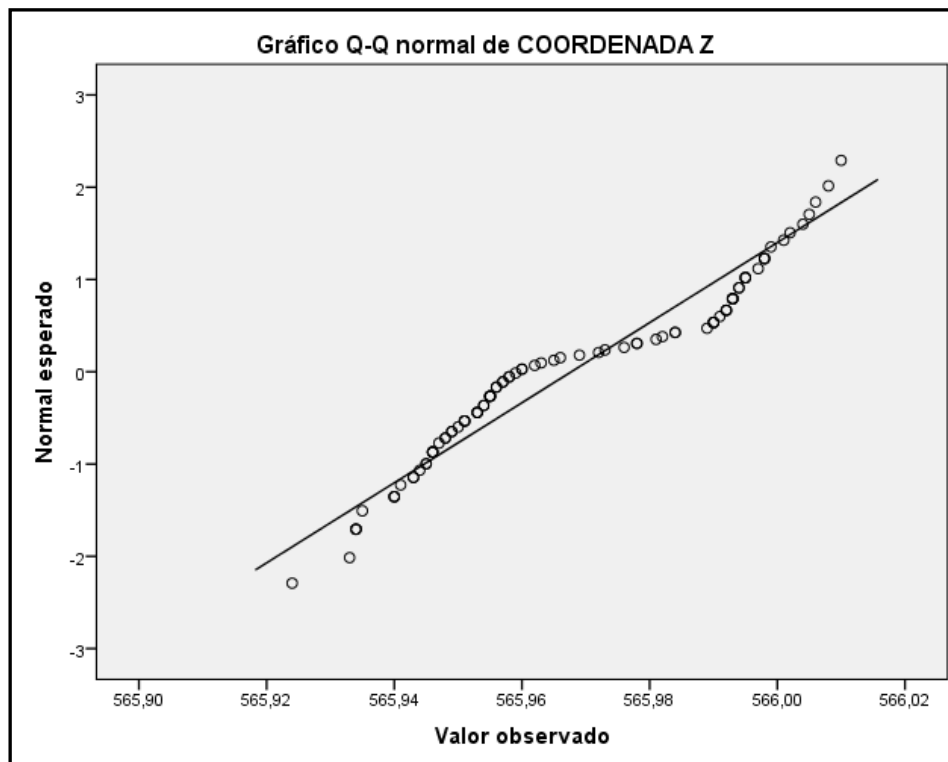
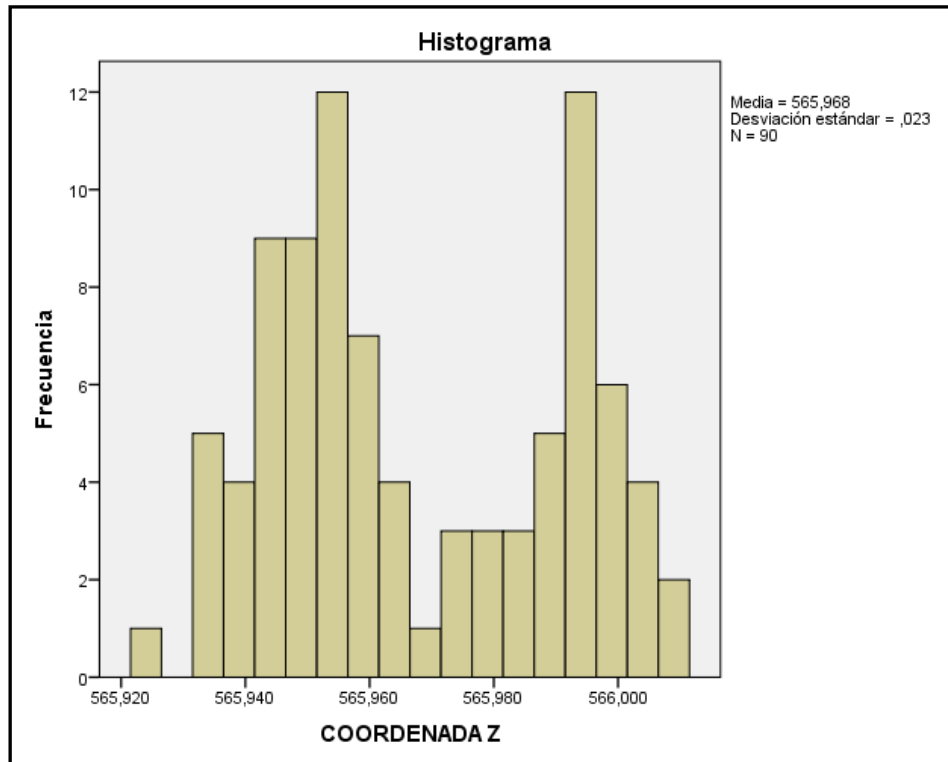
COORDENADA Y



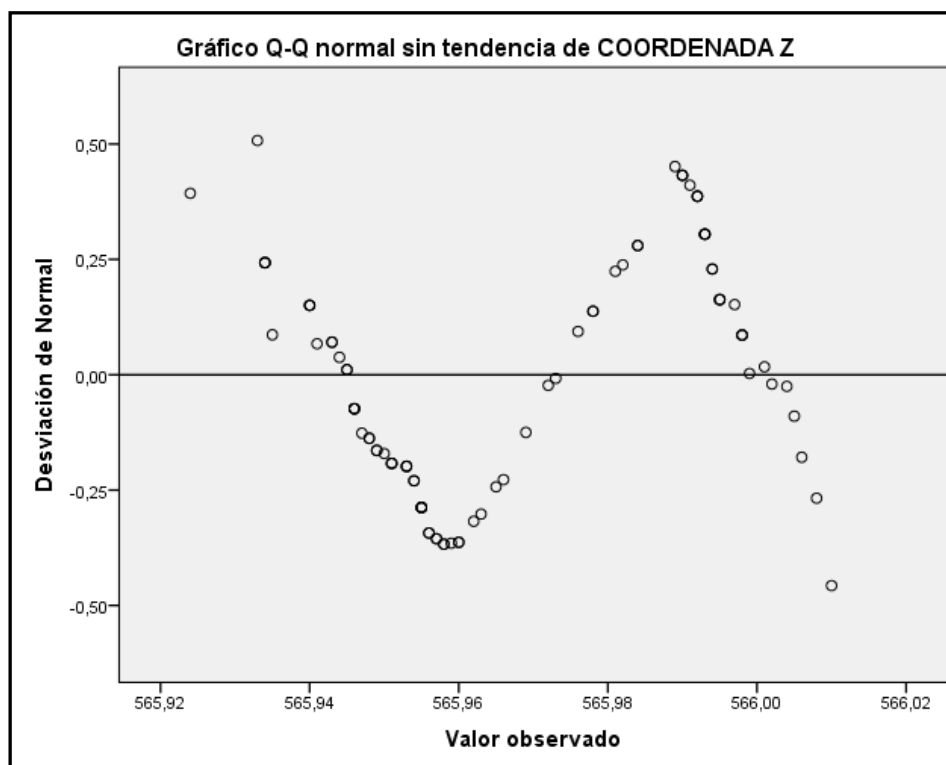
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.3.4.- NIVEL 4

[Conjunto_de_datos1]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CORDOBA\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL4.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 4	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301621,95294	,000465
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	301621,95202 301621,95387
	Media recortada al 5%	301621,95283	
	Mediana	301621,95200	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004415	
	Mínimo	301621,946	
	Máximo	301621,962	
	Rango	,016	
	Rango intercuartil	,008	
	Asimetría	,421	,254
	Curtosis	-,983	,503
COORDENADA Y	Media	4233046,34159	,000514
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4233046,34057 4233046,34261
	Media recortada al 5%	4233046,34185	
	Mediana	4233046,34300	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004876	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,023	
	Rango intercuartil	,007	
	Asimetría	-,684	,254
	Curtosis	,108	,503
COORDENADA Z	Media	547,26147	,000984
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	547,25951 547,26342
	Media recortada al 5%	547,26086	
	Mediana	547,25900	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,009334	
	Mínimo	547,249	
	Máximo	547,285	
	Rango	,036	
	Rango intercuartil	,014	
	Asimetría	,911	,254
	Curtosis	,057	,503

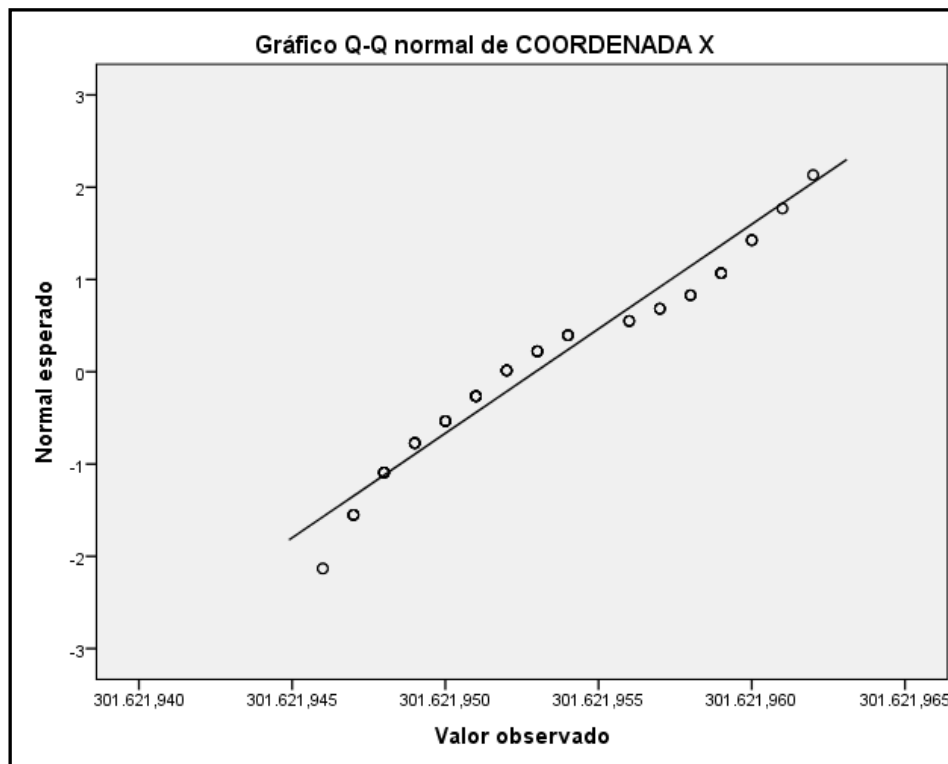
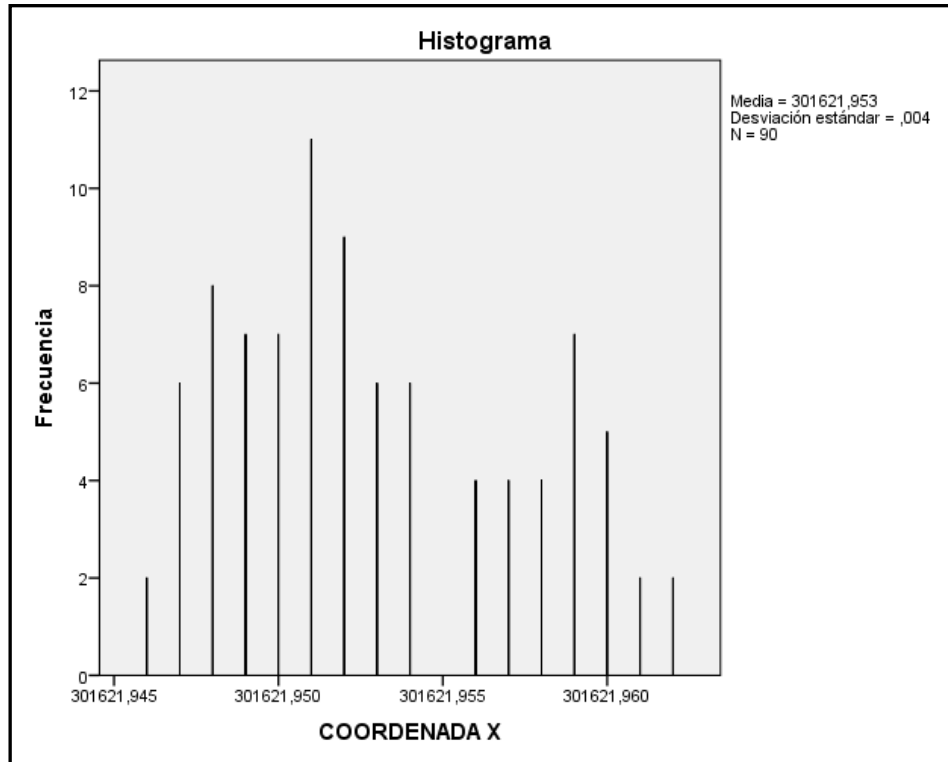
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

VALORES EXTREMOS

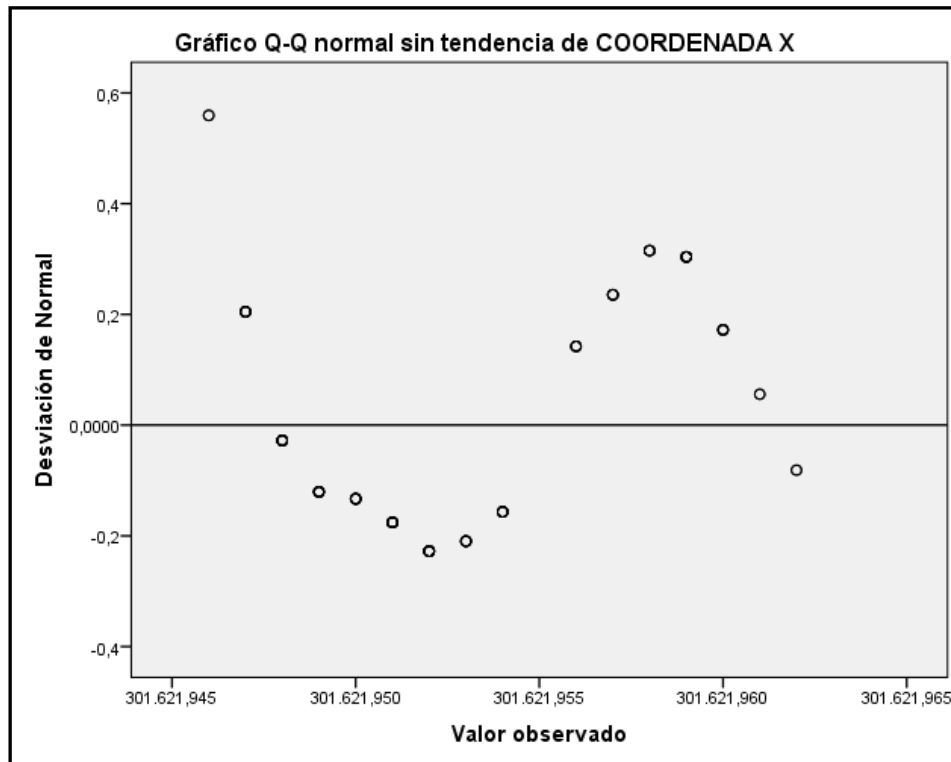
Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	19	301621,962
		2	30	301621,962
		3	11	301621,961
		4	12	301621,961
		5	1	301621,960 ^a
	Menor	1	90	301621,946
		2	89	301621,946
		3	88	301621,947
		4	87	301621,947
		5	86	301621,947 ^b
COORDENADA Y	Mayor	1	46	4,233E+06
		2	90	4,233E+06
		3	84	4,233E+06
		4	85	4,233E+06
		5	86	4,233E+6 ^c
	Menor	1	30	4,233E+06
		2	10	4,233E+06
		3	20	4,233E+06
		4	17	4,233E+06
		5	4	4,233E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	24	547,285
		2	26	547,285
		3	10	547,284
		4	25	547,283
		5	20	547,282
	Menor	1	36	547,249
		2	90	547,250
		3	89	547,250
		4	88	547,250
		5	87	547,250 ^d

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

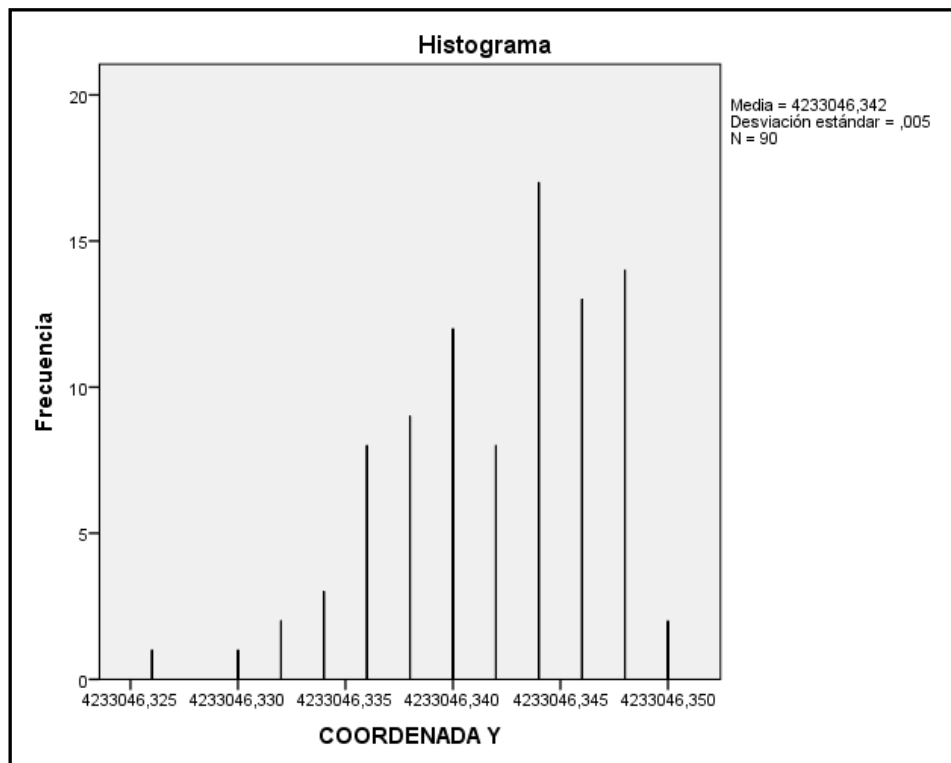
COORDENADA X



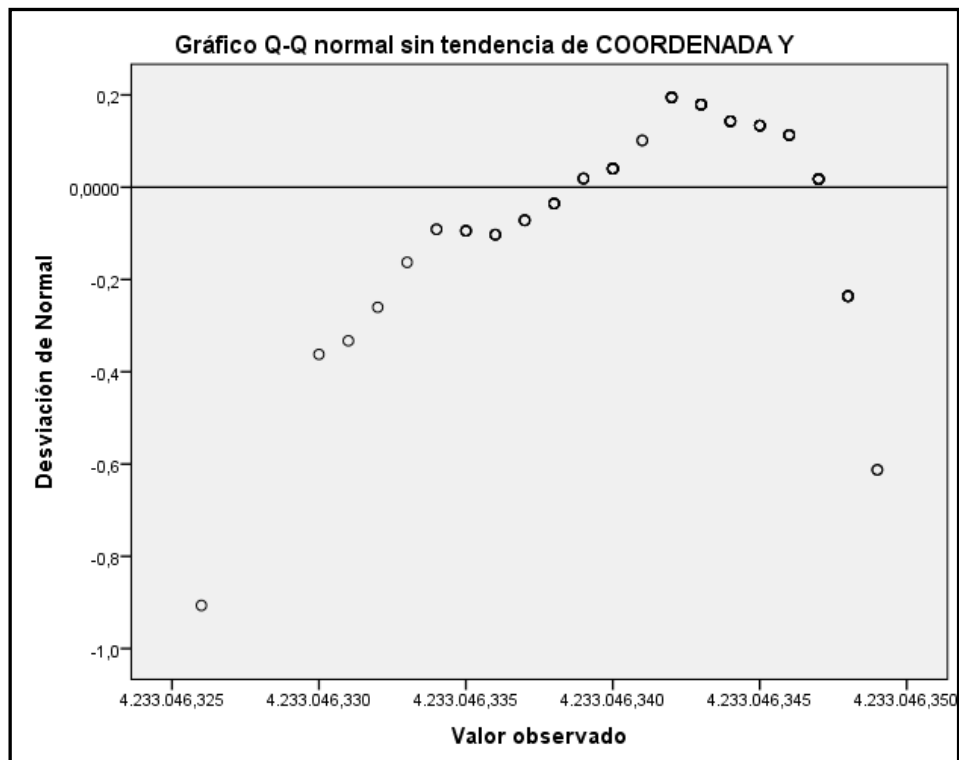
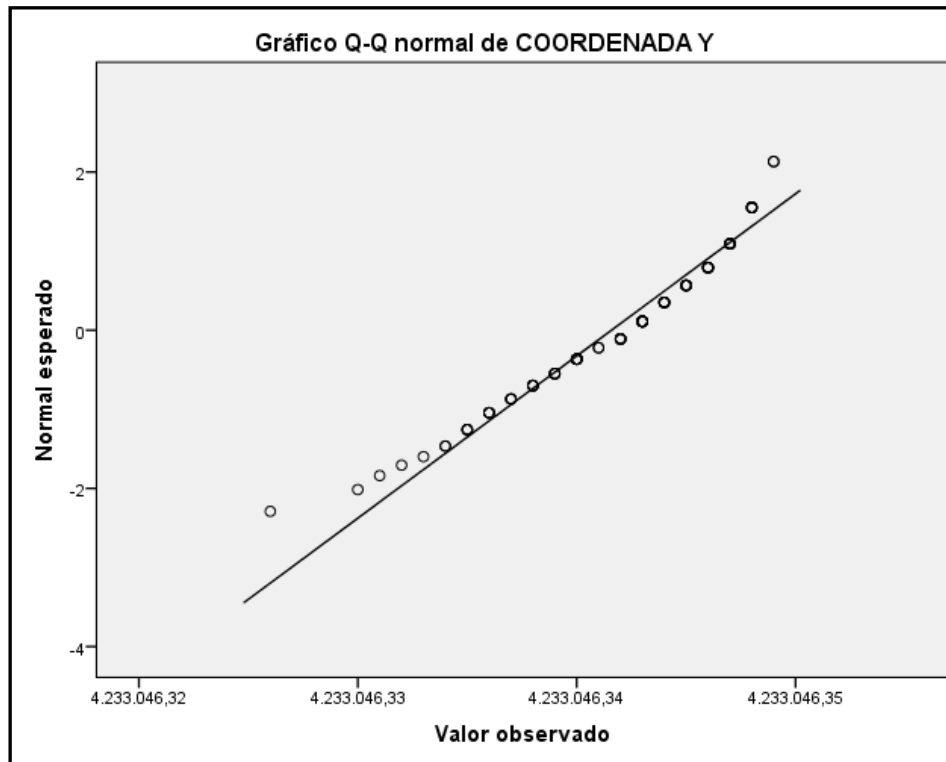
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



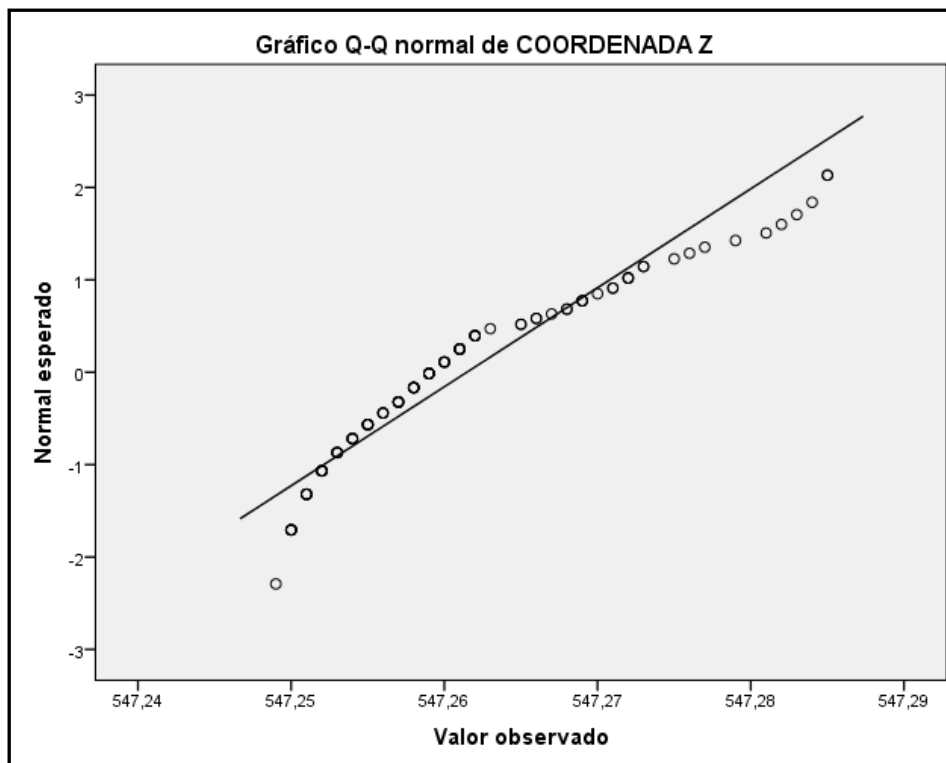
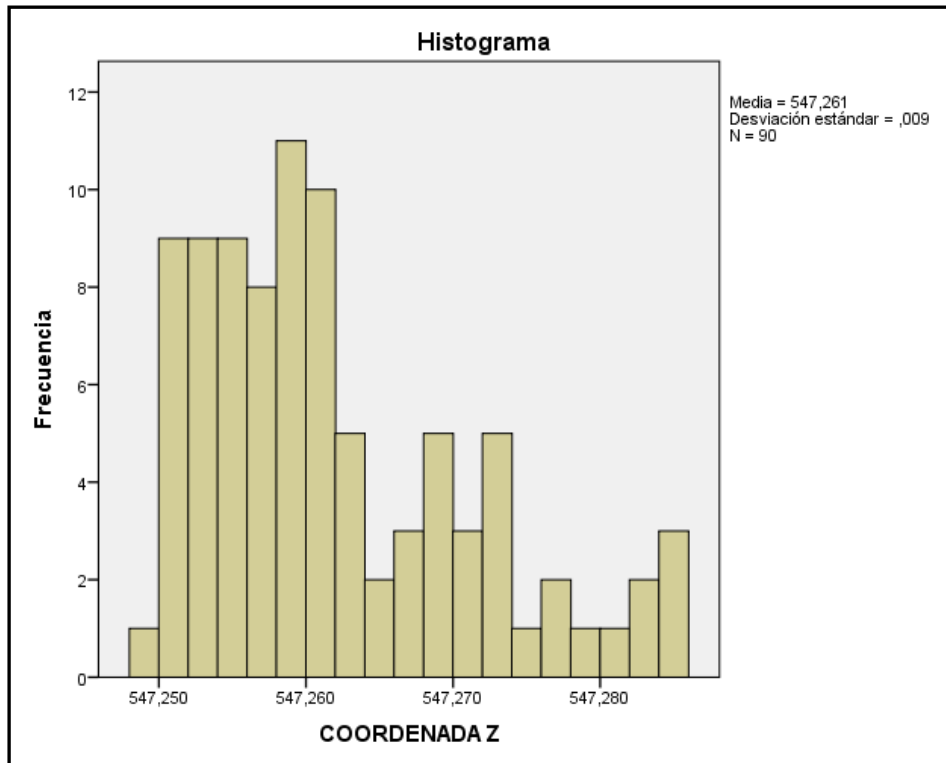
COORDENADA Y



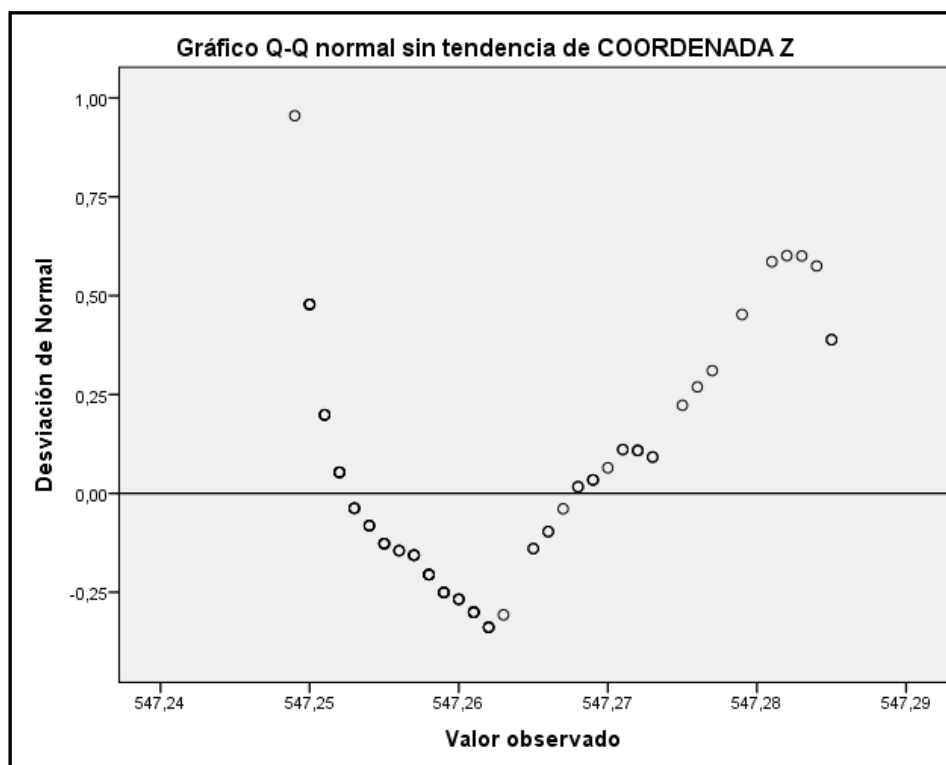
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.3.5.- NIVEL 5

Conjunto_de_datos2]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CORDOBA\
ANALISIS DE DATOS\ NIVEL 5.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 5	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

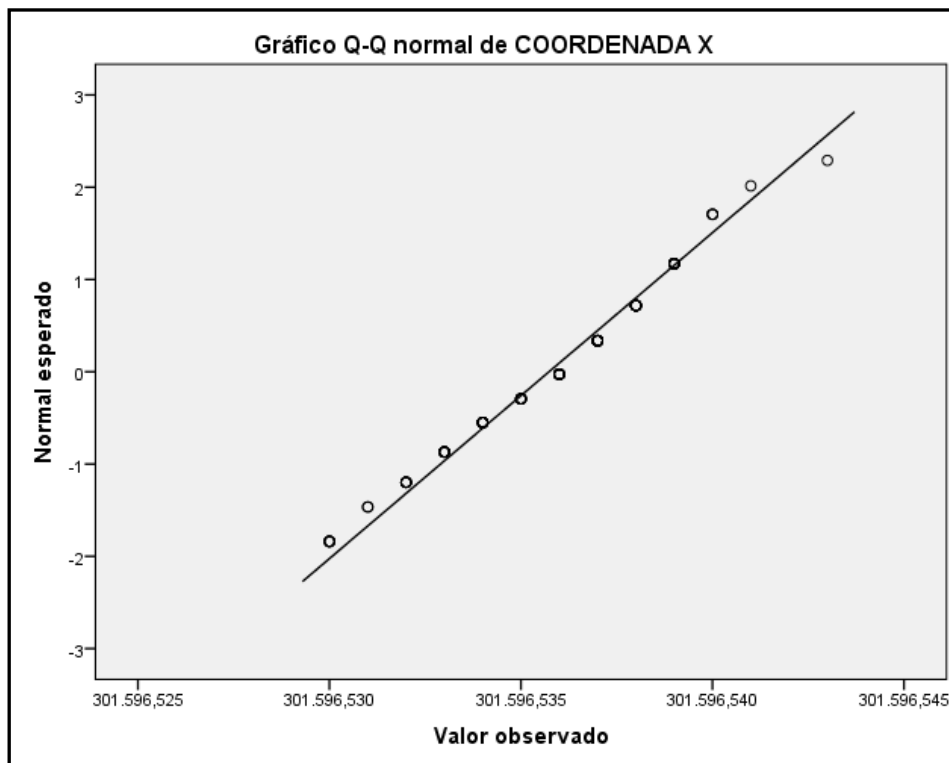
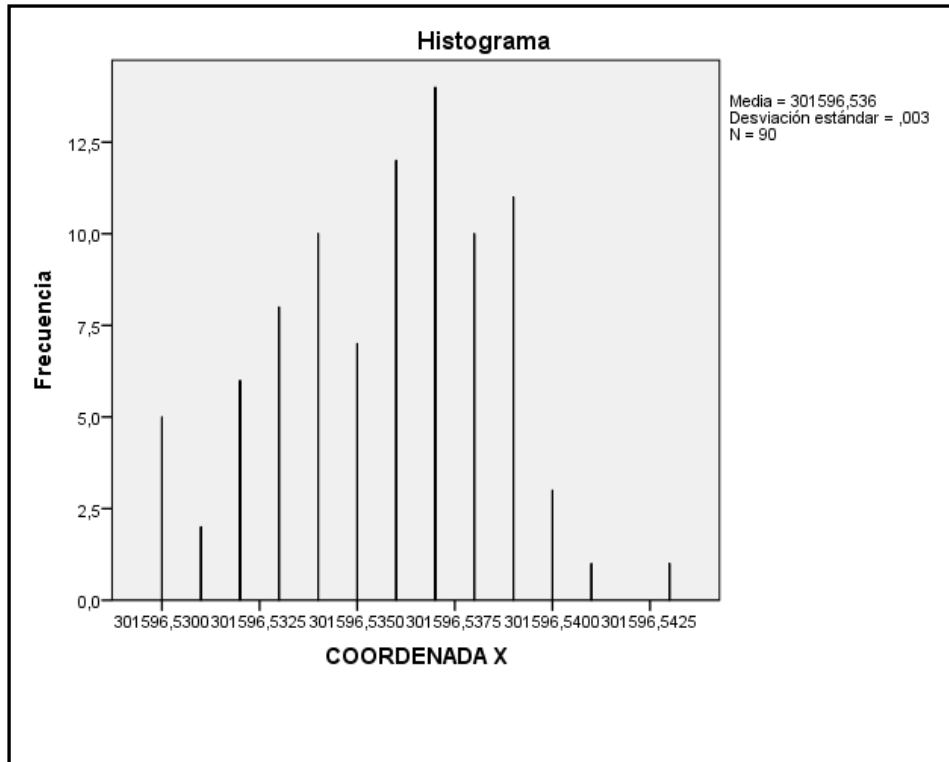
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301596,53573	,000298
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	301596,53514 301596,53633
	Media recortada al 5%	301596,53577	
	Mediana	301596,53600	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,002832	
	Mínimo	301596,530	
	Máximo	301596,543	
	Rango	,013	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	-,199	,254
	Curtosis	-,446	,503
COORDENADA Y	Media	4233062,95996	,000393
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4233062,95917 4233062,96074
	Media recortada al 5%	4233062,95994	
	Mediana	4233062,96000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003729	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,018	
	Rango intercuartil	,005	
	Asimetría	,163	,254
	Curtosis	,006	,503
COORDENADA Z	Media	547,17106	,000743
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	547,16958 547,17253
	Media recortada al 5%	547,17106	
	Mediana	547,17000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,007045	
	Mínimo	547,154	
	Máximo	547,191	
	Rango	,037	
	Rango intercuartil	,011	
	Asimetría	,118	,254
	Curtosis	-,325	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

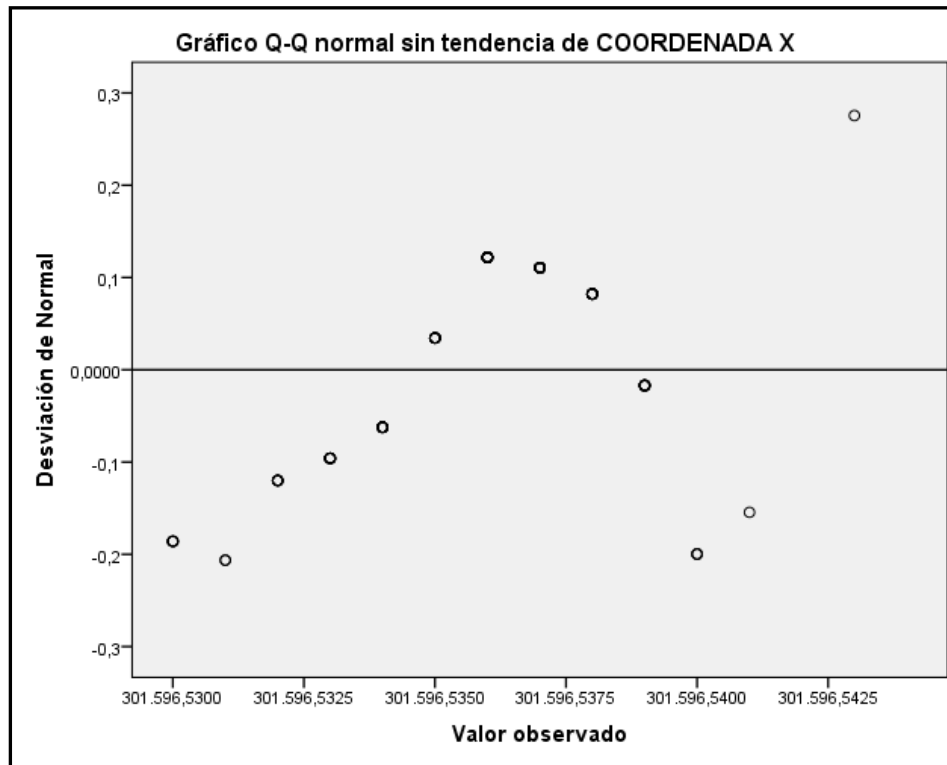
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	35	301596,543
		2	82	301596,541
		3	3	301596,540
		4	9	301596,540
		5	33	301596,540
	Menor	1	76	301596,530
		2	73	301596,530
		3	57	301596,530
		4	53	301596,530
		5	49	301596,530
COORDENADA Y	Mayor	1	56	4,233E+06
		2	83	4,233E+06
		3	13	4,233E+06
		4	57	4,233E+06
		5	6	4,233E+6 ^a
	Menor	1	66	4,233E+06
		2	20	4,233E+06
		3	19	4,233E+06
		4	65	4,233E+06
		5	18	4,233E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	63	547,191
		2	16	547,185
		3	17	547,182
		4	65	547,182
		5	80	547,182
	Menor	1	40	547,154
		2	59	547,157
		3	68	547,158
		4	22	547,159
		5	51	547,161 ^b

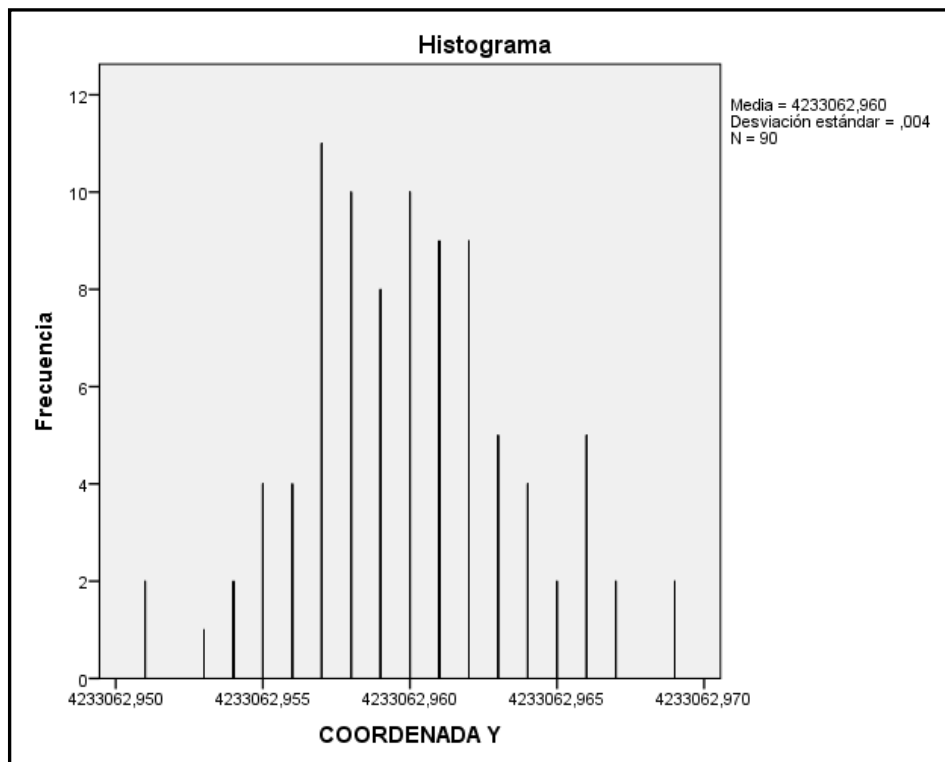
COORDENADA X



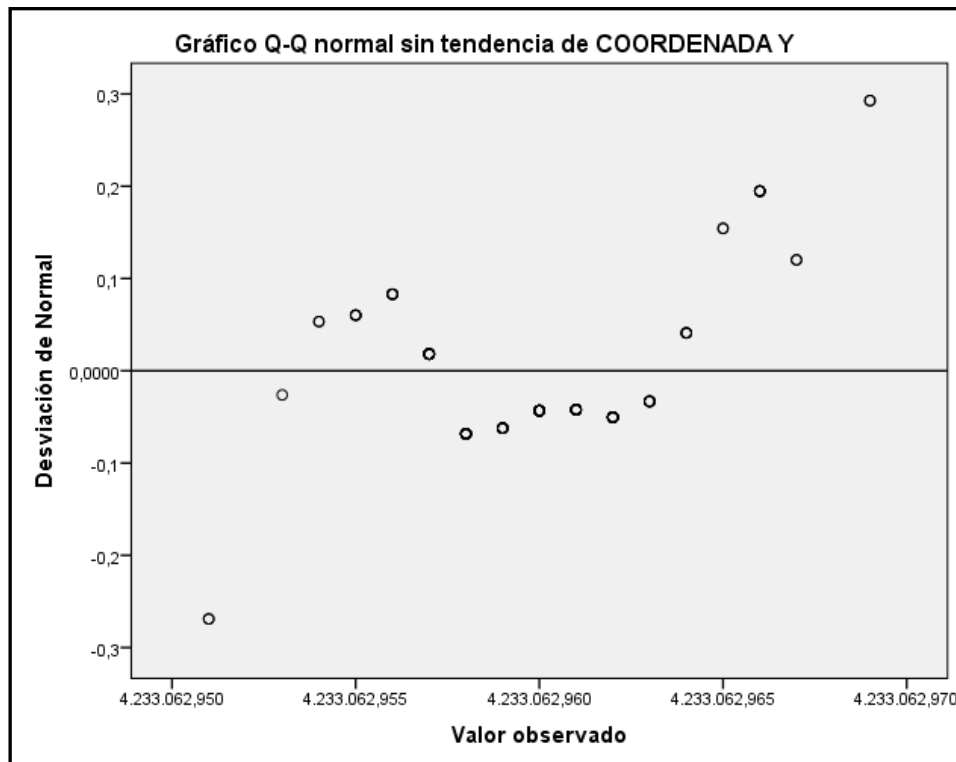
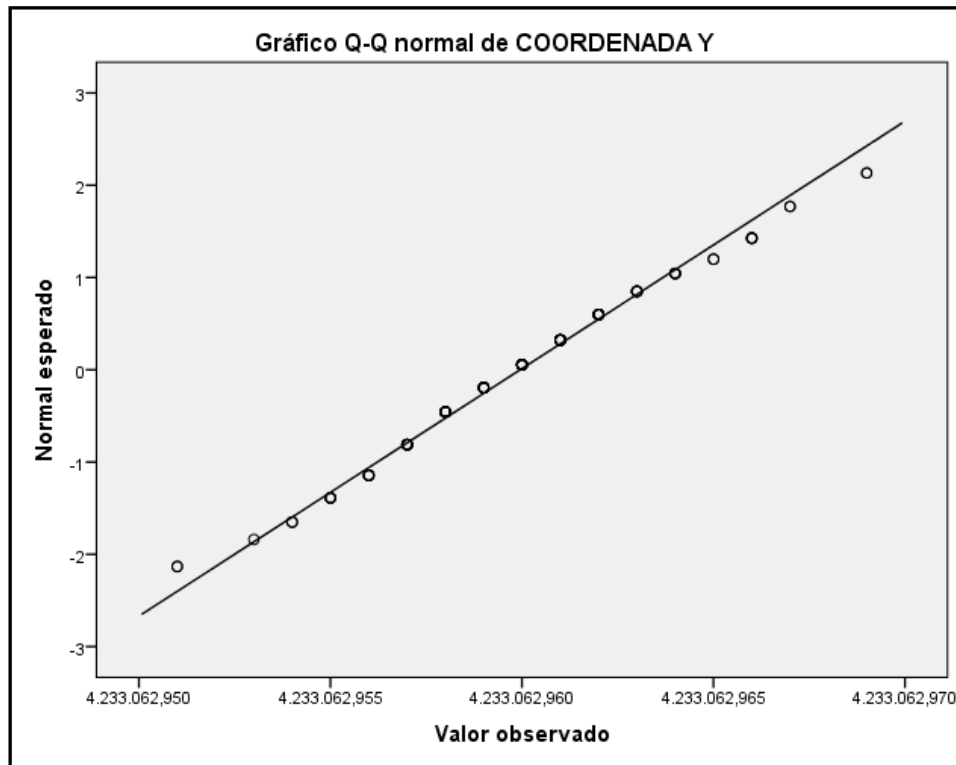
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



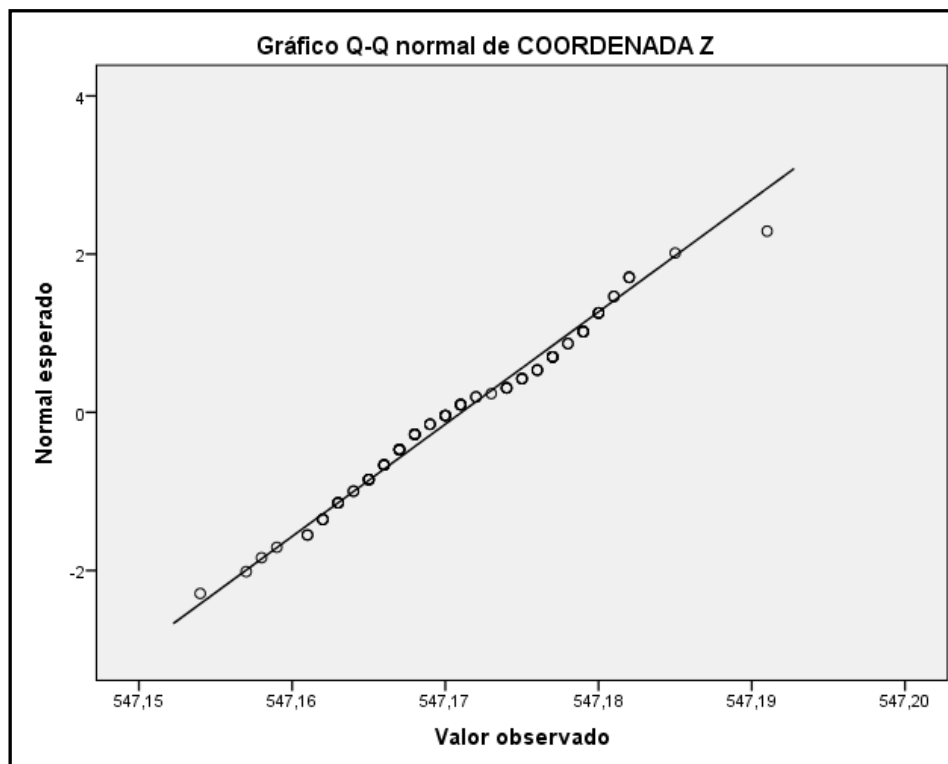
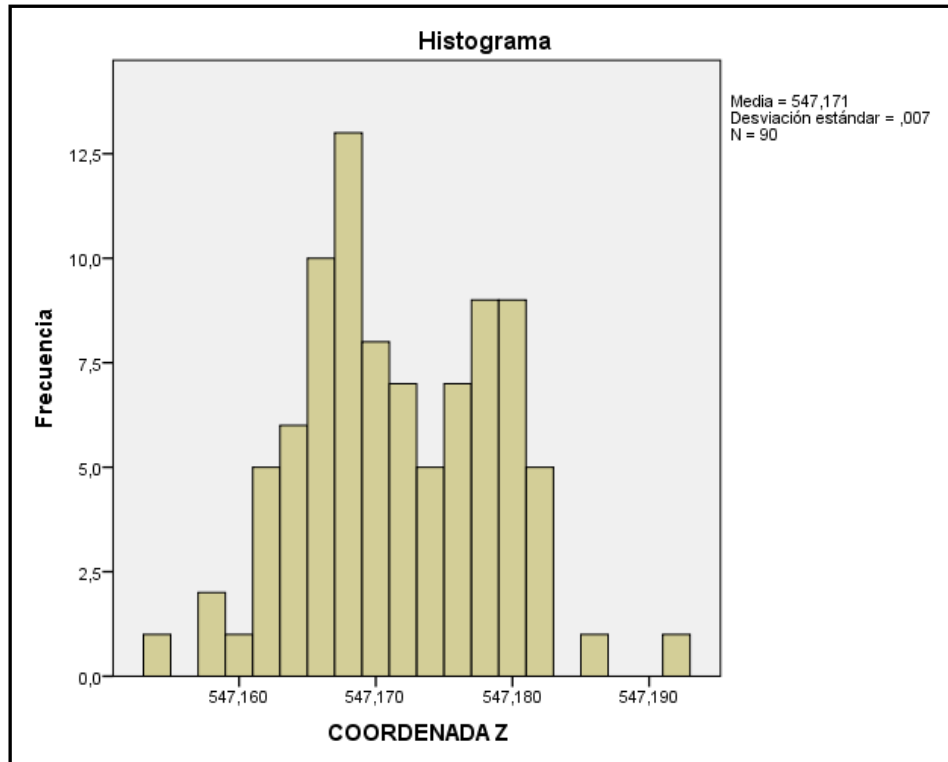
COORDENADA Y



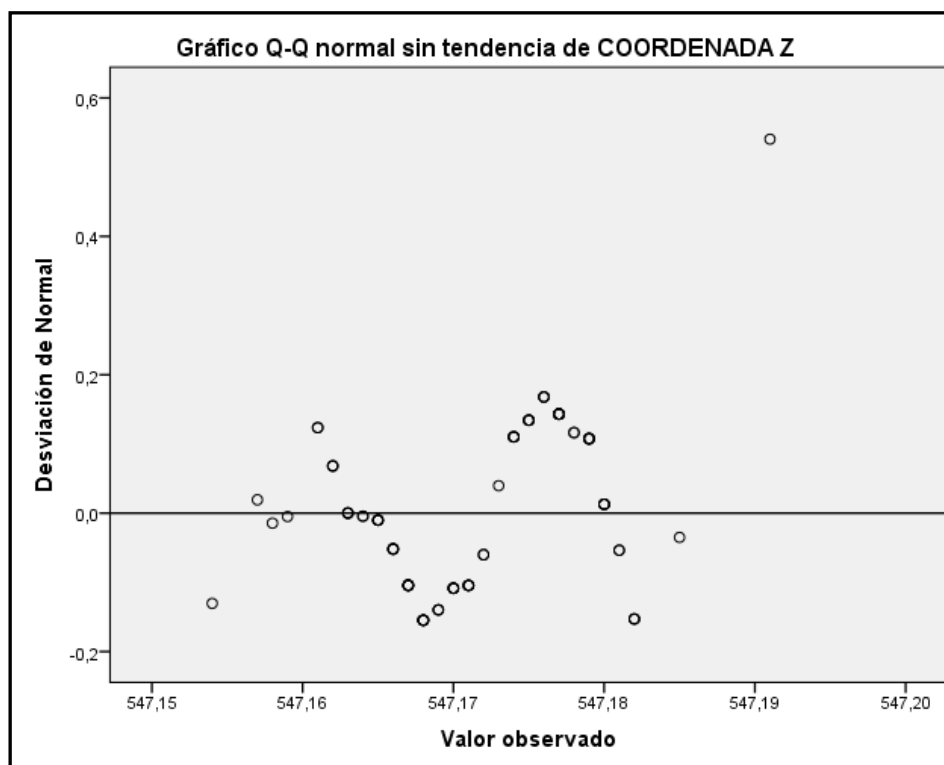
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



1.3.6.- NIVEL 6

[Conjunto_de_datos2]

C:\Users\EQUIPO\Documents\DOCTORADO\REPETIBILIDAD\CORDOBA\
ANALISIS DE DATOS\NIVEL 6.sav

Resumen de procesamiento de casos						
Nivel 3	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
COORDENADA X	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Y	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%
COORDENADA Z	90	100,0%	0	100,0%	90	100,0%

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA "**

DESCRIPTIVOS

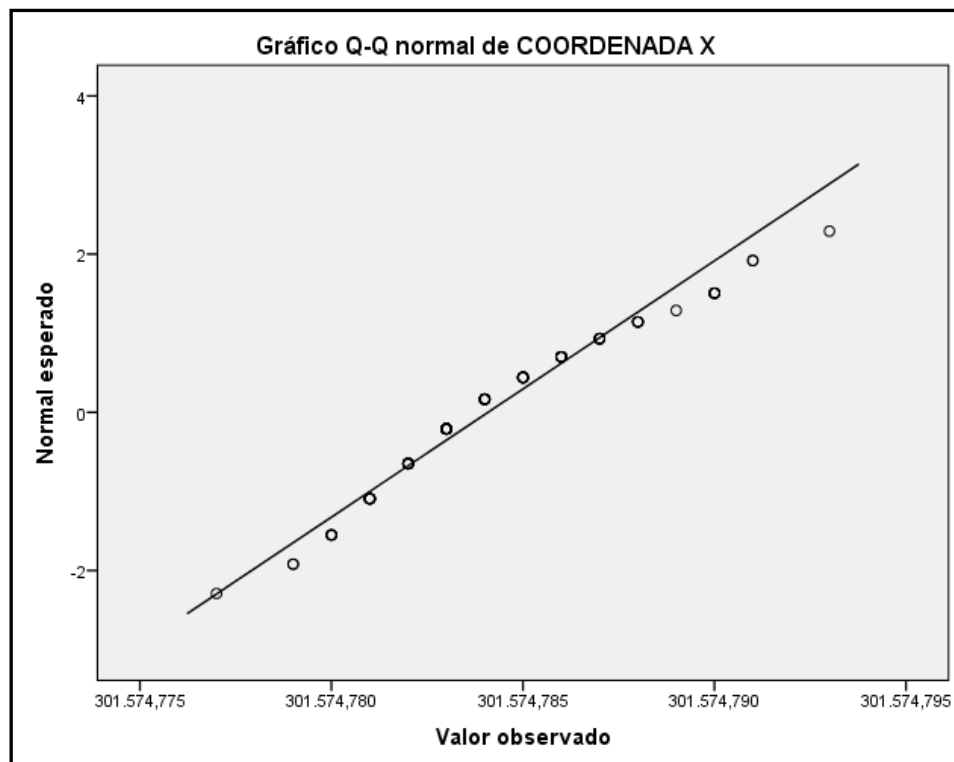
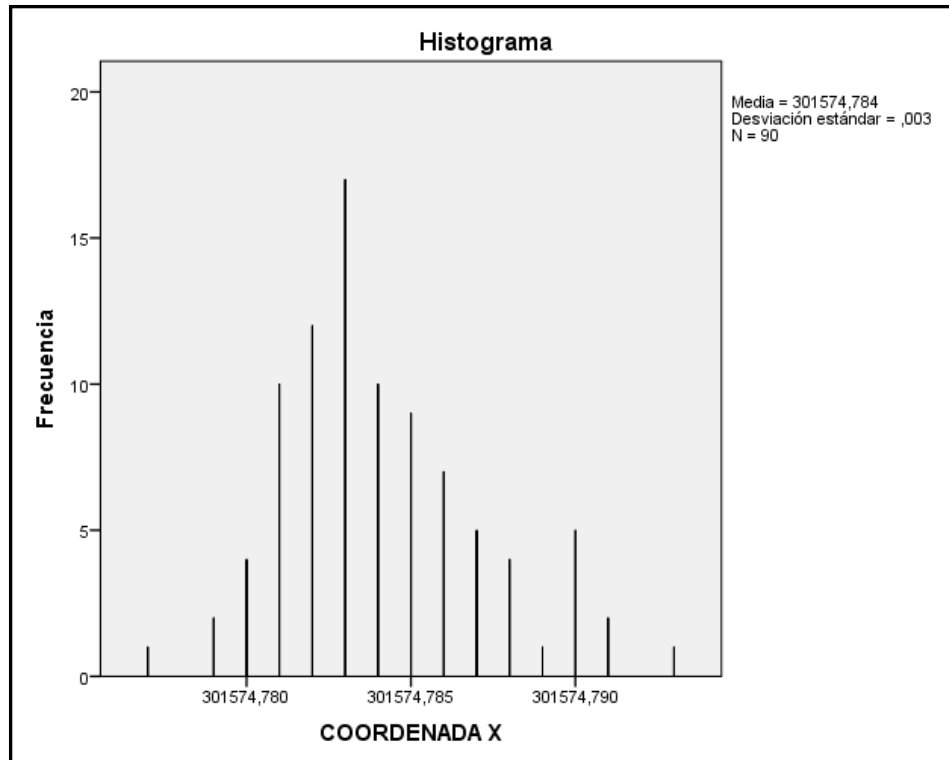
Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
COORDENADA X	Media	301574,78409	,000325
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	301574,78344 301574,78474
	Media recortada al 5%	301574,78399	
	Mediana	301574,78300	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,003085	
	Mínimo	301574,777	
	Máximo	301574,793	
	Rango	,016	
	Rango intercuartil	,004	
	Asimetría	,633	,254
	Curtosis	,224	,503
COORDENADA Y	Media	4233077,21959	,000524
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	4233077,21855 4233077,22063
	Media recortada al 5%	4233077,21958	
	Mediana	4233077,21900	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,004969	
	Mínimo	4,233E+06	
	Máximo	4,233E+06	
	Rango	,021	
	Rango intercuartil	,006	
	Asimetría	,027	,254
	Curtosis	-,511	,503
COORDENADA Z	Media	547,31006	,001146
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	547,30778 547,31233
	Media recortada al 5%	547,30985	
	Mediana	547,31000	
	Varianza	,000	
	Desviación estándar	,010870	
	Mínimo	547,291	
	Máximo	547,333	
	Rango	,042	
	Rango intercuartil	,016	
	Asimetría	,303	,254
	Curtosis	-,843	,503

**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**

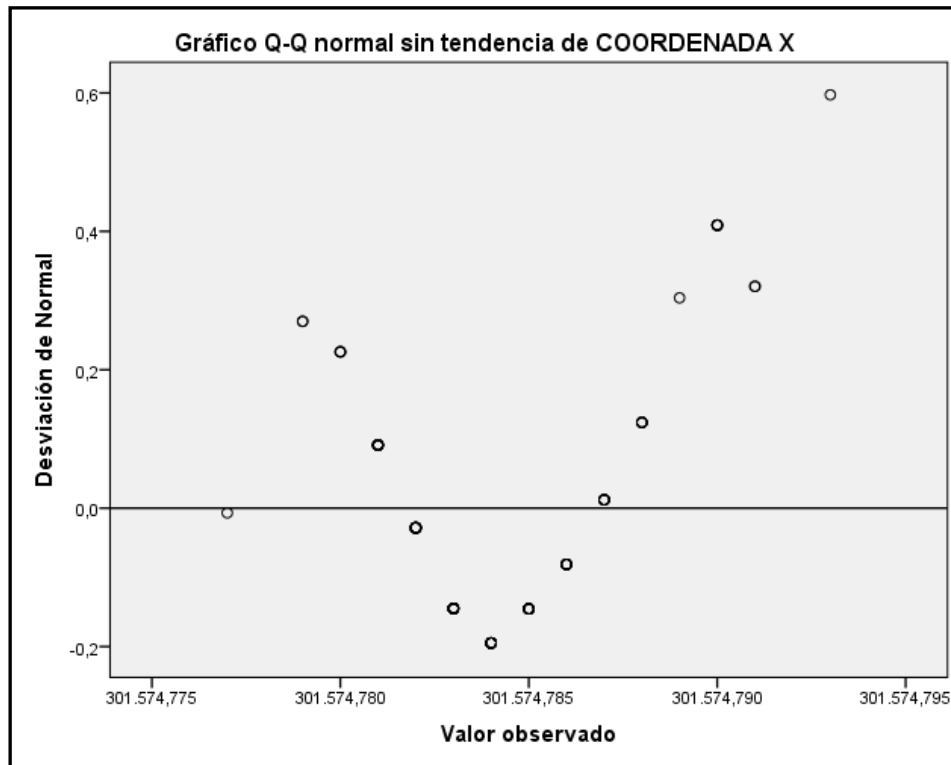
VALORES EXTREMOS

Valores extremos				
			Número del caso	Valor
COORDENADA X	Mayor	1	19	301574,793
		2	16	301574,791
		3	57	301574,791
		4	7	301574,790
		5	10	301574,790 ^a
	Menor	1	45	301574,777
		2	32	301574,779
		3	31	301574,779
		4	90	301574,780
		5	56	301574,780 ^b
COORDENADA Y	Mayor	1	32	4,233E+06
		2	1	4,233E+06
		3	3	4,233E+06
		4	33	4,233E+06
		5	39	4,233E+06
	Menor	1	52	4,233E+06
		2	77	4,233E+06
		3	14	4,233E+06
		4	76	4,233E+06
		5	21	4,233E+06
COORDENADA Z	Mayor	1	17	547,333
		2	5	547,332
		3	10	547,330
		4	24	547,330
		5	12	547,329 ^c
	Menor	1	49	547,291
		2	46	547,291
		3	62	547,294
		4	58	547,294
		5	86	547,295 ^d

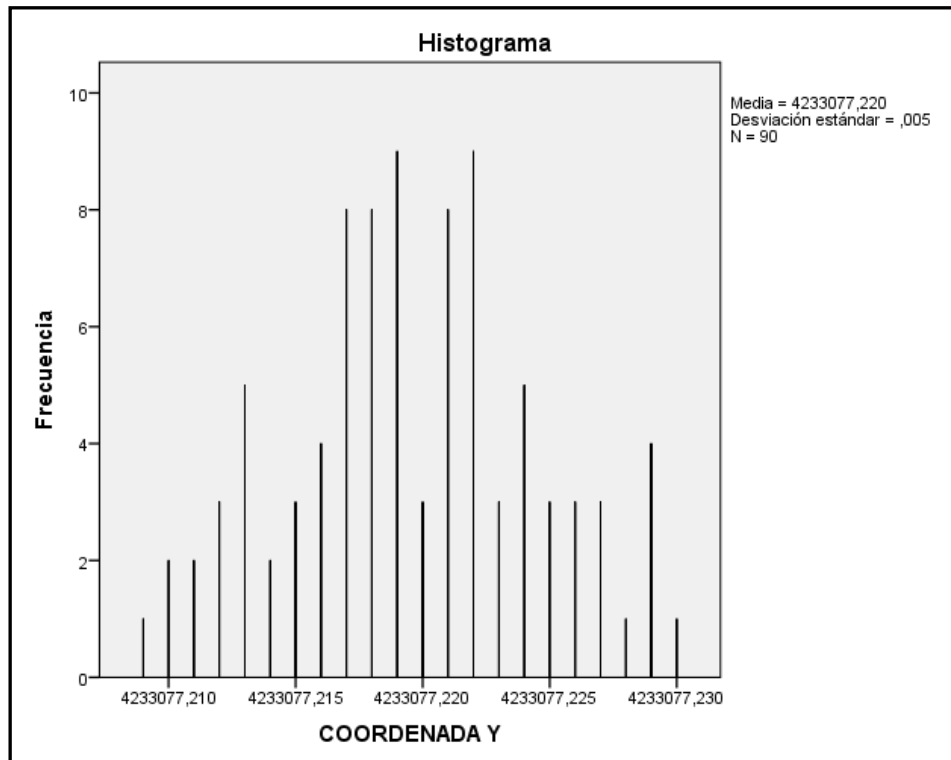
COORDENADA X



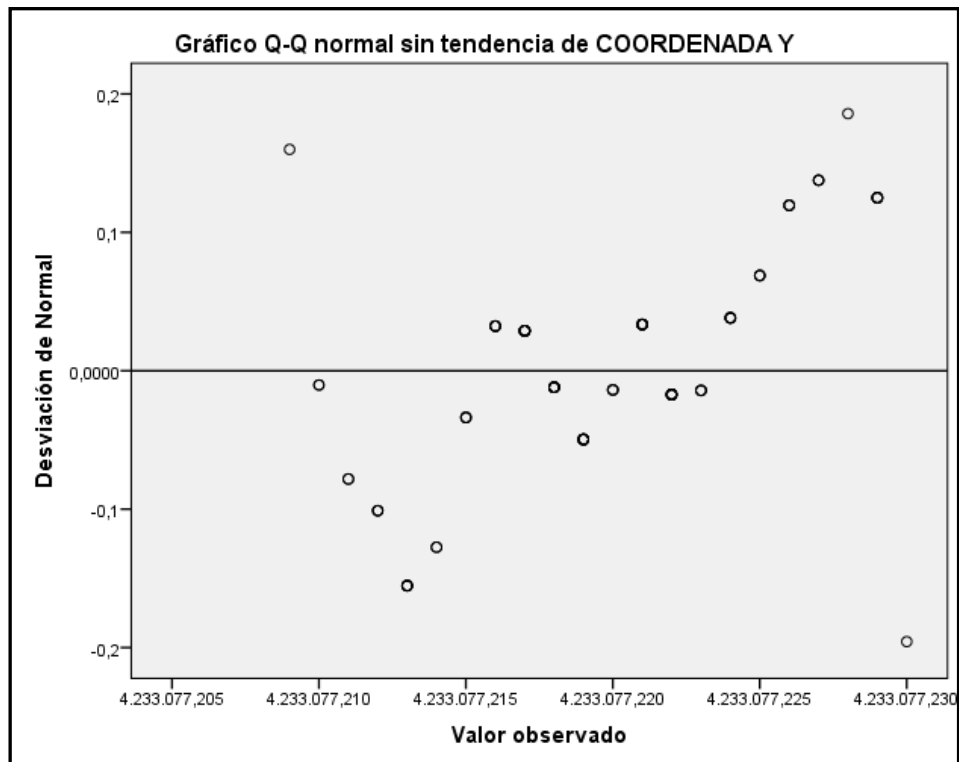
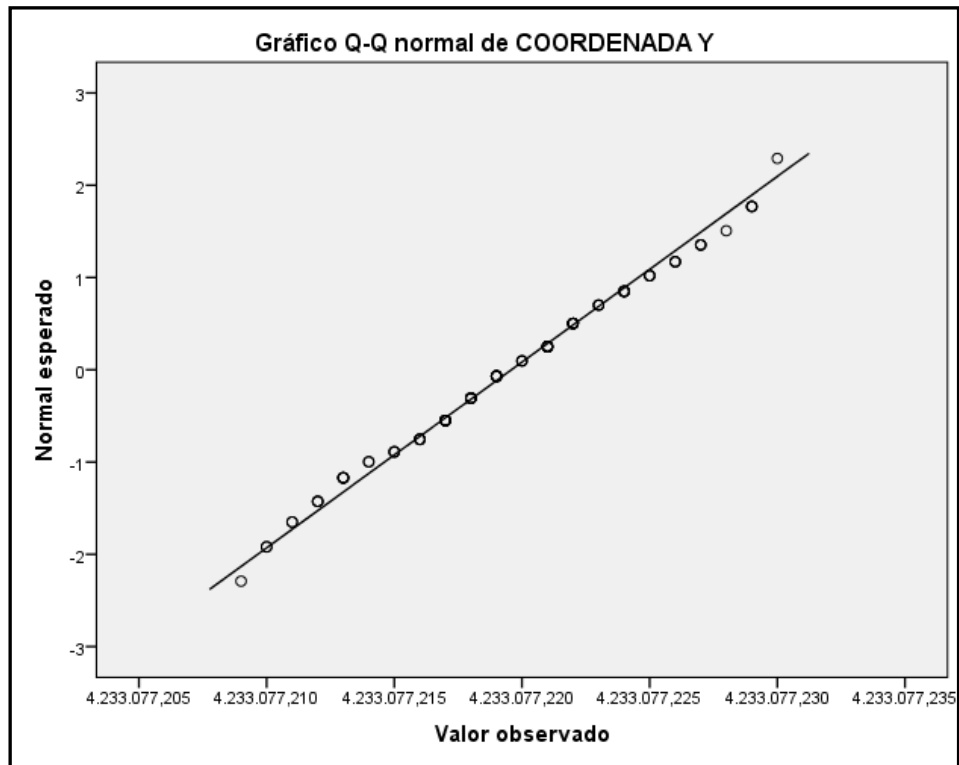
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



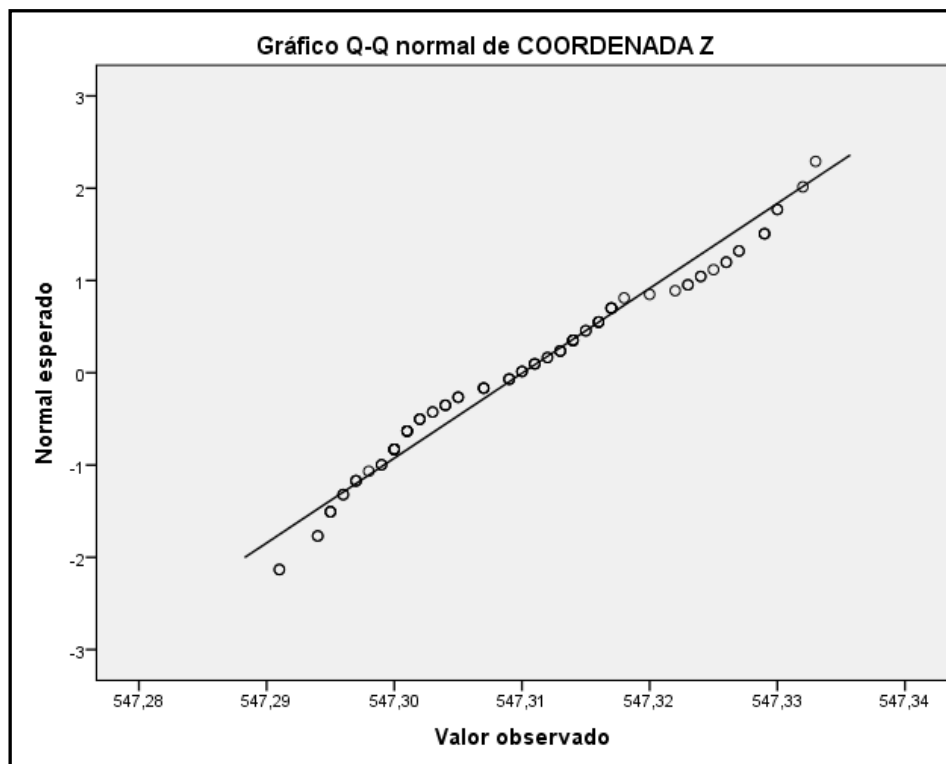
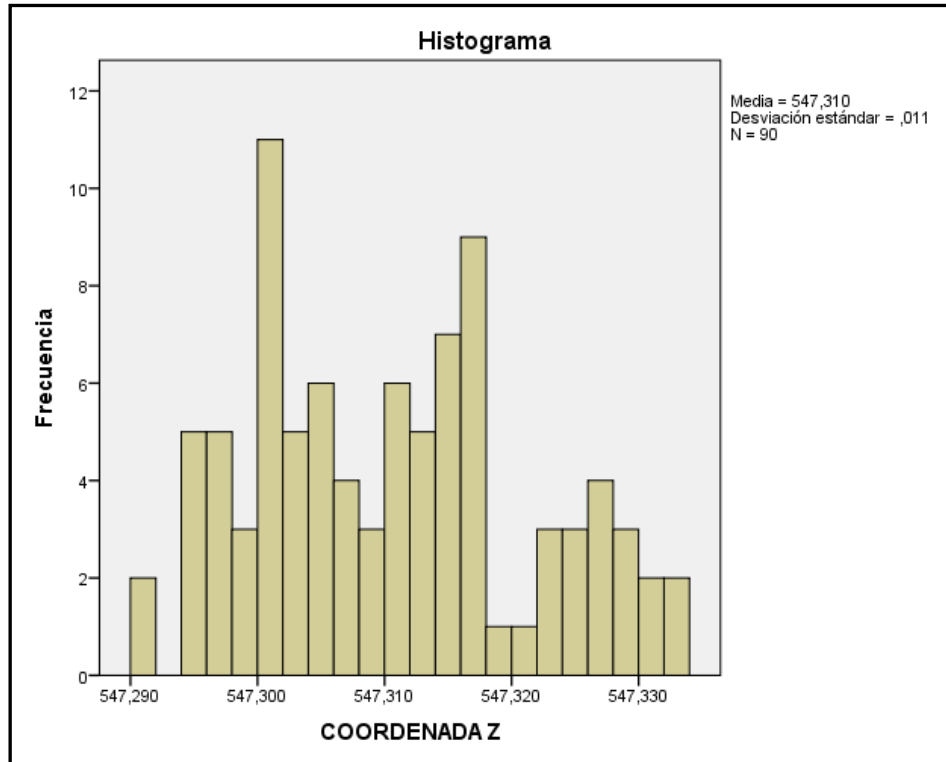
COORDENADA Y



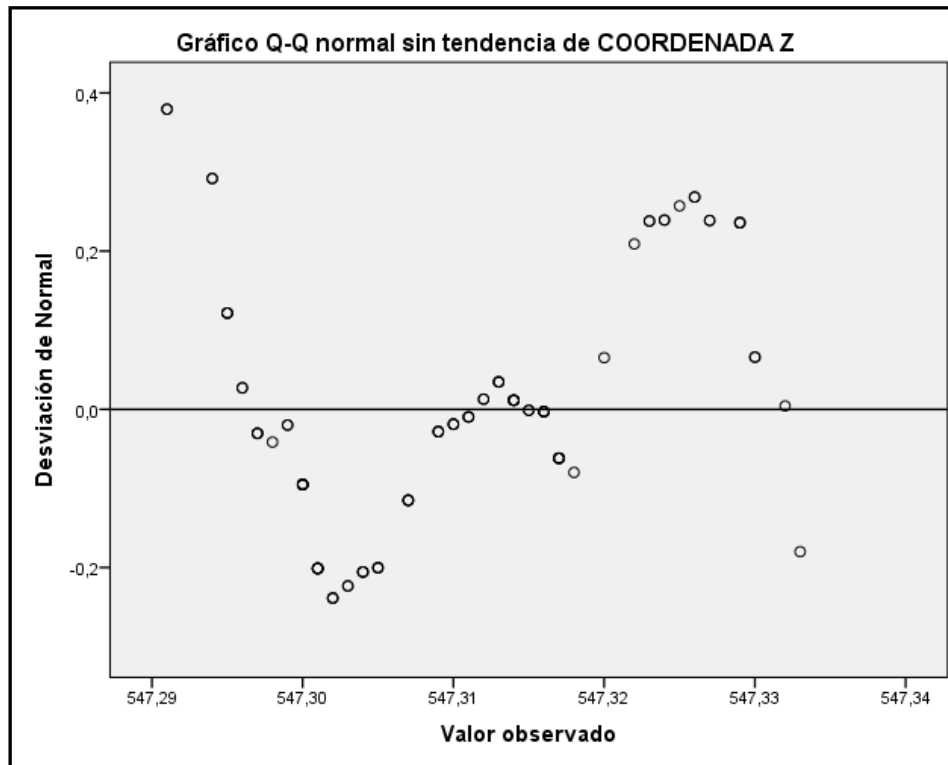
**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



COORDENADA Z



**"APLICACIÓN DE LOS SERVICIOS PROPORCIONADOS POR UNA RED GEODÉSICA ACTIVA
EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA “**



ANEXO III.- INDICIOS DE CALIDAD

ANEXO III.- INDICIOS DE CALIDAD

1.- INDICIOS DE CALIDAD

Sobre esta tesis se publicó el artículo "Active geodetic network: application in topography" en septiembre de 2018. En dicho artículo se muestran algunos resultados sobre la evaluación de los servicios proporcionados por la Red Geodésica Activa situada en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

También, se presentó la Comunicación "Determination of the Repeatability and Reproducibility of the Solutions provided by an Active Geodetic Network: Applications to Construction", al Congreso Internacional "Conference on Green Construction" celebrado en Córdoba los días 8 y 9 de abril de 2019.

1.1.- Datos de la Revista

El objetivo fundamental de la revista DYNA es, difundir las investigaciones que se vienen realizando en el campo de las Ingenierías. A través de, artículos de investigación, estudios de casos y artículos de revisión resultantes del trabajo de investigadores nacionales e internacionales, cubre todas las disciplinas que se enmarcan dentro del macroárea de Ingeniería y Tecnología (OCDE).

En la siguiente imagen se muestran las características de la revista, estos datos se han obtenido, a través del buscador Scopus.

Scopus Preview

Author search Sources ⓘ ⓘ Create account Sign in

Source details

Feedback > Compare sources >

DYNA (Colombia)
Open Access ⓘ
Scopus coverage years: from 2008 to Present
Publisher: Universidad Nacional de Colombia
ISSN: 0012-7353
Subject area: Engineering: General Engineering

View all documents > Set document alert Save to source list Journal Homepage

CiteScore 2018
0.41
Add CiteScore to your site ⓘ
Add CiteScore to your site

SJR 2018
0.157 ⓘ

SNIP 2018
0.289 ⓘ

CiteScore CiteScore rank & trend CiteScore presets Scopus content coverage



Active Geodetic Network: Application in Topography

Enrique Cano Jódar^a Manuel Sánchez de la Orden^b & Javier Mesas Carrascosa^c

^aHigher Technical School of Belmez, University of Córdoba, Spain. um1cajoe@uco.es

^bHigher Technical School of Agronomic Engineers of Córdoba, University of Córdoba, Spain. ig1saorm@uco.es

^cHigher Technical School of Agronomic Engineers of Córdoba, University of Córdoba, Spain, University of Córdoba, ig2mecaf@uco.es

Received: June 18th, 2017. Received in revised form: March 16th, 2018. Accepted: June 13th, 2018.

Abstract

The objective of this work is to determine the positional quality of the solutions offered by the Andalusia Positioning Network (RAP), an active geodetic network located in the autonomous community of Andalusia in southern Spain. Different tests are performed on the services offered by this active network, especially those that use real-time-Kinematic positioning techniques (RTK). Different parameters are analysed, including precision, accuracy and time of resolution of ambiguities. The system is then analysed from the perspective of the topographic survey; several small-scale topographic surveys are carried out, used for mining and civil engineering projects, with the aim of seeing if an active geodetic network can be used with performance similar to that for conventional RTK.

Keywords: CORS; RTK; RAP; Topographical Survey.

© The author; licensee Universidad Nacional de Colombia. Revista DYNA, 85(206), pp. 114-120, September, 2018,

ISSN 0012-7353.DOI: <http://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.66427>.

1.2.- Comunicación presentada a la "Conference on Green Construction"



Determination of the Repeatability and Reproducibility of the Solutions provided by an Active Geodetic Network: Applications to Construction.

Enrique Cano Jódar; Francisco Javier Mesas Carrascosa.

Escuela Politécnica Superior de Belmez. Av. de la Universidad 6, 14240 Belmez (Córdoba-Spain). um1cajoe@uco.es, ig2mecaf@uco.es

Keywords: GNSS, RTK, Repeatability, Reproducibility.

1 - Introduction.

Surveying plays a very important role in all the phases into which the construction of engineering projects is divided. It is responsible for ensuring that the project execution coincides with the geometric characteristics of the design. As a result, methods and instruments are necessary that allow the work to be dynamic and accurate enough to achieve the required quality. Although surveying has not undergone major changes from a general conceptual point of view, the development of instrumentation, together with the development of computer science and electronics in the 1970s, allowed the incorporation of distance meters that, used together with optical equipment, led to the use of semi-total and total stations, all in an effort to automatically collect data. As a result, the use of distance measurement offered a substantial change in terms how surveying methods were applied. Undoubtedly, the implementation of satellite navigation systems (GNSS) starting in the 1980s represented a veritable revolution in the field of surveying and geodesy, yielding different positioning techniques, from the development of differential correction methods (**Hofmann-Wellenhof, B, 2001**) to real-time data gathering techniques (RTK, Real Time Kinematik) (**Remondi B, 1985**). Depending on the spatial quality required by the user, GNSS systems can be applied to survey networks, surveys and stakeouts.

However, the application of these systems is not free from limitations in terms of performance and effective work. The emergence of Active Geodetic Networks starting in the 1990s (**Fotopoulos et al, 2001, Rizos C, et al, 2002, Alves et al, 2006, Aponte et al, 2009**) allowed us to overcome these limitations by increasing performance in survey work applied to construction. It is in this context that we consider the determination of the repeatability and reproducibility of the solutions provided by an Active Geodetic Network as applied to construction by using the UNE 82009-2:1999 standard, equivalent to the ISO 5725-2:1994 international standard.

2 - Methods and Materials.

In applying this standard to an active geodetic network, a set of three reference stations were considered as the laboratories. These stations will yield the position (x, y, z) of a general of six control points or levels, with a total of 90 measurements taken for each. The real-time correction method used in the position determination was the Master Auxiliary Concept (MAC) (**Euler H.-J, 2001, N. Brown, 2005**), a simple solution from the selected station. In this case, the selected station matched the master station used by the MAC. The dual-frequency GNSS receiver used in this work was a Leica GG AX (Hexagon AB, Stockholm, Sweden), mounted on a pole and equipped with an internet-connected mobile phone to receive differential corrections from the selected station through the NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) (**Lenz, 2004**). The Andalusian Positioning Network (RAP) of the Andalusian regional government was used as the active geodetic network.

3 - Results and Conclusions.

The reproducibility and repeatability values of the system were determined using three reference antennas in the RAP network (Pozoblanco, Cazalla, Córdoba) and applying the UNE 82009-2:1999 standard. Table 1 shows the repeatability and reproducibility values for the different levels tested, in both position and height.

Table 1 - Repeatability and reproducibility values for the six levels tested.

Point	Repeatability		Reproducibility	
	Position	Height	Position	Height
1	0.005	0.012	0.014	0.031
2	0.006	0.017	0.007	0,038
3	0.005	0.016	0.007	0,036
4	0.006	0.009	0.014	0.045
5	0.006	0.010	0.011	0.023
6	0.006	0.013	0.013	0.029
Average	0.006	0.013	0.011	0.034

The average planimetry and altimetry results obtained, considering repeatability and reproducibility, allow us to state that the real-time services offered by the RAP network are suitable for use in construction works for engineering projects. In addition, since the base receiver is one of the antennas in the RAP network, this saves both time and money. Time-wise, this process eliminates the set-up period associated with the GNSS antenna that serves as the master. Moreover, since it is only necessary to acquire a single GNSS receiver, the financial costs associated with the work are further reduced.

4 - References

- Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger and J. Collins (2001).** GPS Theory and Practice Fifth Revised Edition, Springer-Verlag Wien New York, ISBN 3-211-835342.
- Remondi, BW (1985),** Performing Centimeter-Level Surveys in Seconds with GPS Carrier Phase: Initial Results. *Navigation*, 32: 386-400. doi: 10.1002 / j.2161-4296.1985.tb00918.x
- Fotopoulos, G. and Cannon, ME (2001)** An Overview of Multi-Reference Station Methods for Cm-Level Positioning, *GPS Solution*, Vol. 4, No. 3, 1-10, 2001
- Curls C; Han S,** Reference station network based rtk system - concepts & progress', in *4TH International Symposium ON GPS / GNSS*, Wuhan, China, 6 - 8 November 2002.
- Aponte, J., Meng, X., Dodson, AH, Moore, T., Hill, C., Burbidge, M.** Quality assessment for a network RTK GPS service in the UK (2009) *J. Appl. Geodesy*, 3, pp25-34

Euler H.-J., Keenan CR, Zebhauser CB, Wübbena G., "Study of Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays", presented at ION GPS 2001.

Janssen V. "A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK" Proceedings of the IGNSS Symposium. Australia Dec 200

N. Brown, R. Keenan, B. Richter, L. Troyer, Advances in ambiguity resolution for RTK applications using the new RTCM V3.0 Master-Auxiliary messages *Leica Geosystems AG, Switzerland* Published in proceedings of ION GNSS September 13-16, 2005, Long Beach, CA

Lenz, E. Networked transport of RTCM via internet protocol (NTRIP) - application and benefit in modern surveying systems, FIG Working Week, Athens, Greece, May 22-27, 2004. Int. Paper TS3.2

Berrocso, M., Páez, R., Jigena, B., Caturla, C. The RAP Net: A Geodetic Positioning Network for Andalusia (South Spain). Riga, Latvia, June 14-17 2006, EUREF Publication No. 16, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 40, pp. 364-368. ICA-UCA.2007

Spanish Standard UNE 8002009-2, (1999). Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results, published by AENOR Legal Deposit: M 235781.199